



TUGAS AKHIR - MO141326

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI INHIBITOR  
DAN KONSENTRASI INHIBITOR TERHADAP LAJU  
KOROSI DAN PENENTUAN EFISIENSI INHIBISI PADA  
BAJA TULANGAN BETON ST 42 DI KONDISI  
LINGKUNGAN LAUT**

BAYU MAHARDIKA  
NRP. 4312 100 135

Dosen Pembimbing :  
Herman Pratikno S.T., M.T., Ph.D.  
Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc.

Jurusan Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



FINAL PROJECT - MO141326

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE ON  
THE VARIATION OF INHIBITORS AND INHIBITOR  
CONCENTRATIONS TO CORROSION RATE AND  
INHIBITION EFFICIENCY OF CONCRETE  
REINFORCING STEEL ST 42 IN SEA WATER  
ENVIRONMENT**

**BAYU MAHARDIKA  
NRP. 4312 100 135**

**Supervisors :**

**Herman Pratikno S.T., M.T., Ph.D.**

**Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc.**

**Department of Ocean Engineering  
Faculty of Marine Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016**

## LEMBAR PENGESAHAN

### STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI INHIBITOR DAN KONSENTRASI INHIBITOR TERHADAP LAJU KOROSI DAN PENENTUAN EFISIENSI INHIBISI PADA BAJA TULANGAN BETON ST 42 DI KONDISI LINGKUNGAN LAUT

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**BAYU MAHARDIKA**

**NRP. 43 12 100 135**

Disetujui oleh:

1. Herman Pratikno, S.T., M.T. (Pembimbing 1)

2. Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc. (Pembimbing 2)

3. Murdjito, M.Sc-Eng. (Penguji 1)

4. Wimala L. Dhanistha, S.T., M.T. (Penguji 2)

5. Prof. Ir. Eko B. Djatmiko, M.Sc., Ph.D. (Penguji 3)

Surabaya, Juli 2016

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI INHIBITOR DAN  
KONSENTRASI INHIBITOR TERHADAP LAJU KOROSI DAN  
PENENTUAN EFISIENSI INHIBISI PADA BAJA TULANGAN  
BETON ST 42 DI KONDISI LINGKUNGAN LAUT**

**Nama Mahasiswa : Bayu Mahardika**  
**NRP : 4312100135**  
**Jurusan : Teknik Kelautan FTK-ITS**  
**Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, ST., M.T., Ph.D.**  
**Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.**

**ABSTRAK**

Korosi pada logam adalah masalah yang tidak bisa dihindari, hanya bisa dihambat. Masalah ini harus diperhatikan secara khusus, karena bisa berdampak pada kerugian materi maupun kerugian teknis. Salah satu cara yang digunakan untuk menghambat korosi adalah dengan penambahan inhibitor. Seperti pada penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini, meneliti pengaruh variasi inhibitor dan konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi dan penentuan efisiensi inhibisi pada baja tulangan beton ST 42 di kondisi lingkungan laut. Inhibitor yang akan digunakan adalah sodium nitrit, asam askorbat, dan asam karboksilat, dan variasi konsentrasinya adalah 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm. Larutan induk media korosif yang digunakan adalah larutan garam dengan salinitas 3,5 %. Data dari hasil eksperimen menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasinya maka semakin rendah laju korosinya, serta didapatkan kondisi optimal pengaruh variasi inhibitor dan konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi pada baja tulangan ST 42 di kondisi lingkungan laut yang efisiensi inhibisinya tertinggi adalah baja tulangan beton ST 42 pada beton bertulang menggunakan inhibitor sodium nitrit dengan konsentrasi 300 ppm, yaitu sebesar 0,37665 %.

**Kata Kunci :** Korosi, baja tulangan beton, laju korosi, efisiensi inhibisi

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE ON THE  
VARIATION OF INHIBITORS AND INHIBITOR  
CONCENTRATIONS TO CORROSION RATE AND INHIBITION  
EFFICIENCY OF CONCRETE REINFORCING STEEL ST 42 IN  
SEA WATER ENVIRONMENT**

**Student Name** : Bayu Mahardika  
**Reg. Number** : 4312100135  
**Department** : Teknik Kelautan FTK-ITS  
**Supervisors** : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.  
Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

**ABSTRACT**

Corrosion on metal is a problem that can't be avoided, it can only be inhibited. This problem need to be concern, because it could have effect on material and technical losses. One of the ways to inhibit corrosion is to add inhibitors. As the research conducted, the research investigated the influence on the variation of inhibitors and inhibitors concentration to corrosion rate and determination of iinhibition efficiency of concrete reinforcine steel ST 42 in sea water environment. Inhibitor to be used are sodium nitrite, ascorbic acid, and carboxylic acid, and inhibitor concentration variations are 100 ppm, 200 ppm, and 300 ppm. Sea water environment media used is a saline solution with a salinity of 3,5 %. Data form experimental result showed that the higher concentration of inhibitor, the lower corrosion rate, and obtained the optimal condition of the influence on the variation of inhibitors and inhibitors concentration to corrosion rate of concrete reinforcing steel ST 42 in sea water environment that has the highest inhibition efficiency is concrete reinforcing steel ST 42 using sodium ntrite inhibitor with concentration of 300 ppm, that is equal to 0.37665 %.

**Keyword** : Corrosion, concrete reinforcing steel, corrosion rate, inhibition efficiency

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR .....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Analisa .....	3
1.4 Manfaat .....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka .....	7
2.2 Dasar Teori.....	7
2.2.1 Beton .....	7
2.2.2 Baja Tulangan .....	8
2.2.3 Baja Tulangan Beton ST 42 .....	8
2.2.4 Korosi.....	9
2.2.5 Inhibitor.....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	19
3.2 Prosedur Penelitian.....	20
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	45
4.1 Pengujian Kuat Tekan Beton .....	45
4.2 Pengamatan Visual.....	46
4.3 Berat yang Hilang .....	46
4.4 Uji Laju Korosi .....	48
4.5 Penentuan Efisiensi Inhibisi.....	52

4.6 Pengamatan Struktur Mikro .....	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
5.1 Kesimpulan .....	59
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA .....	63

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Korosi Pada Tulangan .....	2
Gambar 2. 1. Hubungan Tegangan dan Regangan pada Baja .....	8
Gambar 2. 2. Reaksi Korosi pada Daerah Anodik dan Katodik .....	11
Gambar 2. 3. Grafik Perbandingan pH Terhadap Laju Korosi.....	12
Gambar 2. 4. Grafik Perbandingan Konsentrasi DO dengan Laju Korosi....	13
Gambar 2. 5. Efek Temperatur pada Laju Korosi.....	14
Gambar 3. 1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	19
Gambar 3. 2. Mesin Molen.....	21
Gambar 3. 3. Adonan Beton Mutu K 350.....	21
Gambar 3. 4. Cetakan Beton.....	22
Gambar 3. 5. Oli untuk Dioleskan pada Bagian Dalam Cetakan Beton.....	22
Gambar 3. 6. Proses Pembuatan Spesimen Beton.....	23
Gambar 3. 7. Permukaan Rata Spesimen Beton.....	23
Gambar 3. 8. Proses Curing.....	24
Gambar 3. 9. Spesimen Beton Mutu K 350.....	24
Gambar 3. 10. Proses Pembuatan Kaping.....	24
Gambar 3. 11. Spesimen Beton Mutu K 350 yang Telah Diberi Kaping.....	25
Gambar 3. 12. Mesin Uji Kuat Tekan Beton.....	25
Gambar 3. 13. Proses Uji Kuat Tekan Beton.....	25
Gambar 3. 14. Ukuran Spesimen Baja Tulangan ST 42.....	28
Gambar 3. 15. Spesimen Baja Tulangan ST 42.....	28
Gambar 3. 16. Timbangan Digital Mettler Toledo.....	29
Gambar 3. 17. Sodium Nitrit.....	29
Gambar 3. 18. Asam Askorbat.....	29
Gambar 3. 19. Asam Karboksilat.....	30
Gambar 3. 20. Semen,Pasir (Agregat Halus),dan Kerikil (Agregat Kasar).30	
Gambar 3. 21. Pipa PVC sebagai Cetakan Beton.....	31
Gambar 3. 22. Ukuran Spesimen Beton Bertulang.....	32



Gambar 3. 23. Spesimen Beton Bertulang.....	32
Gambar 3. 24. Garam NaCl .....	33
Gambar 3. 25. Aquades.....	33
Gambar 3.26.Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS.....	34
Gambar 3. 27. Mekanisme Pengujian Korosi dengan Mengaliri Arus.....	34
Gambar 3. 28. Rectifier.....	35
Gambar 3. 29. Spesimen Beton Bertulang Tanpa Menggunakan Inhibitor. 35	
Gambar 3. 30. Spesimen Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 100 ppm.....	35
Gambar 3. 31. Spesimen Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 200 ppm.....	35
Gambar 3. 32. Spesimen Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 300 ppm.....	36
Gambar 3. 33. Spesimen Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Askorbat Konsentrasi 100 ppm.....	36
Gambar 3. 34. Spesimen Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Askorbat Konsentrasi 200 ppm.....	36
Gambar 3. 35. Spesimen Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Askorbat Konsentrasi 300 ppm.....	36
Gambar 3. 36. Spesimen Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Karboksilat Konsentrasi 100 ppm.....	37
Gambar 3. 37. Spesimen Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Karboksilat Konsentrasi 200 ppm.....	37
Gambar 3. 38. Spesimen Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Karboksilat Konsentrasi 300 ppm.....	37
Gambar 3. 39. Spesimen yang Telah Dipotong .....	39
Gambar 3. 40. Resin.....	39
Gambar 3. 41. Katalis.....	40
Gambar 3. 42. Pipa PVC sebagai Cetakan Resin .....	40
Gambar 3. 43. Buehler Ecomet III Polisher Grinder.....	41
Gambar 3. 44. Spesimen yang Telah Dipoles.....	41
Gambar 3. 45. Proses Pembersihan Menggunakan HNO <sub>3</sub> dan Alkohol .....	42
Gambar 3. 46. Alat Pengering.....	42

Gambar 3. 47. Mikroskop Mikro dengan Kamera 5 Megapixel.....	42
Gambar 4. 1. Terjadi Korosi pada Spesimen Baja Tulangan Beton ST 42..	46
Gambar 4. 2. Diagram Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Sodium Nitrit terhadap Laju Korosi .....	50
Gambar 4. 3. Diagram Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Asam Askorbat terhadap Laju Korosi.....	50
Gambar 4. 4. Diagram Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Asam Karboksilat terhadap Laju Korosi.....	51
Gambar 4. 5. Diagram Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Sodium Nitrit terhadap Efisiensi Inhibisi.....	54
Gambar 4. 6. Diagram Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Asam Askorbat terhadap Efisiensi Inhibisi.....	54
Gambar 4. 7. Diagram Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Asam Karboksilat terhadap Efisiensi Inhibisi.....	55
Gambar 4. 8. Foto Struktur Mikro Perbesaran 100 X Baja Tulangan Beton ST 42 Sebelum Uji Korosi.....	56
Gambar 4. 9. Foto Struktur Mikro Perbesaran 100 X Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 300 ppm Setelah Uji Korosi.....	56

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Tabel Komposisi Baja ST 42.....	9
Tabel 3. 1. Tabel Korelasi Umur Beton.....	27
Tabel 4. 1. Tabel Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 7 hari dan Hasil Korelasi Kuat Tekan Beton dengan Umur Beton.....	45
Tabel 4. 2. Tabel Berat yang Hilang.....	49
Tabel 4. 3. Tabel Laju Korosi.....	46
Tabel 4.4 Tabel Efisiensi Inhibisi.....	53

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Korosi dapat didefinisikan secara umum sebagai pengrusakan bahan oleh lingkungannya. Bahri (2007) menyatakan bahwa pengrusakan yang dimaksud adalah degradasi atau penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia redoks atau reduksi oksidasi suatu logam dengan lingkungan dimana logam itu berada. Korosi akan terjadi pada setiap konstruksi yang menggunakan material dasar logam, mulai dari konstruksi sederhana seperti pagar dan pipa PDAM, sampai dengan konstruksi berat seperti kapal, *offshore structure*, dan konstruksi gedung. Dampak yang ditimbulkan akibat korosi akan sangat besar pengaruhnya bagi kehidupan manusia. Dari sisi materi, biaya perawatan akibat korosi dapat diestimasikan mencapai 40 % dari keseluruhan total biaya perawatan (Ikhwani, 2015). Dari sisi teknis, contohnya adalah robohnya bangunan yang dapat mengancam keselamatan manusia.

Beton bertulang (*reinforced concrete*) merupakan suatu bahan konstruksi yang biasa digunakan untuk membuat bangunan. Beton bertulang ini merupakan gabungan dari beton dan baja tulangan yang didesain khusus untuk memperkuat beton pada suatu konstruksi bangunan. Juliawati (2003) menyatakan bahwa beton adalah material campuran dari agregat, semen, dan air, yang memiliki kekuatan yang baik terhadap tekan, sedangkan baja tulangan pada beton bertulang ini memiliki kekuatan yang baik terhadap tarik.

Juliawati (2003) menyatakan bahwa baja tulangan ini dipakai karena keuntungan dari sifatnya yang lentur serta kuat terhadap gaya tarik. Akan tetapi baja tulangan ini rentan terhadap fenomena korosi. Korosi yang terjadi pada baja tulangan ini dapat mengurangi kekuatan tarik pada

konstruksi beton bertulang tersebut. Contoh struktur beton di lingkungan laut yang rentan terhadap korosi adalah dermaga dan jetty.



Gambar 1.1 Korosi Pada Tulangan

(<https://aguzher.files.wordpress.com/2008/12/korosi-tulangan-2.jpg?w=510>)

Juliawati (2003) menyatakan bahwa umumnya pada kondisi lingkungan yang normal dengan pH normal, struktur komposit beton ini akan membungkus baja tulangan sehingga dapat memperlambat laju korosi pada baja tulangan. Perlambatan laju korosi ini terjadi karena adanya reaksi hidrolisis yang terjadi antara air dan komposit beton. Reaksi hidrolisis ini membentuk lingkungan yang alkalinitasnya tinggi, kadar basanya bisa mencapai pH 13. Lingkungan dengan alkalinitas yang tinggi ini akan menyebabkan terbentuknya lapisan oksida tipis diatas permukaan tulangan yang akan melindungi baja tulangan dari korosi.

Jika kita tinjau pada kondisi lingkungan yang kadar garamnya tinggi, dimana lingkungan tersebut kandungan ion kloridanya besar, membuat beton tidak mampu untuk menahan serangan ion-ion korosif. Lingkungan dengan kadar garam tinggi dapat berupa air laut, pencemaran air tanah oleh rembesan air laut, air sungai yang tercemar, dan sebagainya. Ion-ion korosif dapat masuk atau berpenetrasi ke dalam beton bertulang

melalui pori-pori pada beton, retakan yang ada pada beton, maupun dari permeabilitas beton itu sendiri.

Herdiansjah (2003) menyatakan bahwa ion-ion korosif yang masuk ke dalam beton bertulang itu dapat menyebabkan korosi pada baja tulangan serta rusaknya struktur beton. Struktur beton bertulang yang hancur karena serangan korosi ini membutuhkan biaya yang sangat besar untuk memperbaikinya. Korosi pada baja tulangan ini harus diperhatikan secara khusus. Oleh karena itu dicari solusi untuk mengatasi masalah ini.

Penambahan zat kimia atau yang disebut dengan inhibitor pada struktur beton bertulang merupakan salah satu cara untuk menghambat laju korosi. Pada penelitian yang telah dilakukan terdahulu, terdapat berbagai macam zat kimia yang digunakan sebagai inhibitor, diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Nikitasari (2014) menggunakan inhibitor sodium nitrit, Halomoan (2003) dan Aziz (2013) menggunakan inhibitor asam askorbat, dan Juliawati (2003) menggunakan inhibitor asam karboksilat. Melalui tugas akhir ini akan dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh inhibitor sodium nitrit, asam askorbat, dan asam karboksilat dengan variasi konsentrasi yang berbeda terhadap laju korosi dan efisiensi inhibisi pada material baja tulangan beton ST 42 pada kondisi larutan induk media korosif garam.

## **1.2 Perumusan Masalah**

1. Bagaimana pengaruh inhibitor sodium nitrit, asam askorbat, dan asam karboksilat dengan konsentrasi inhibitor 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm terhadap laju korosi baja tulangan beton ST 42 di kondisi lingkungan larutan media korosif garam dengan metode *weight loss*?
2. Bagaimana kondisi optimal pengaruh variasi inhibitor dan konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi pada baja tulangan beton ST 42 di kondisi lingkungan laut yang efisiensi inhibisinya tertinggi?

## **1.3 Tujuan Analisa**

1. Mengetahui pengaruh inhibitor sodium nitrit, asam askorbat, dan asam karboksilat dengan konsentrasi inhibitor 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm terhadap laju korosi baja tulangan beton ST 42 di

kondisi lingkungan larutan media korosif garam dengan metode *weight loss*.

2. Mengetahui kondisi optimal pengaruh variasi inhibitor dan konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi pada baja tulangan beton ST 42 di kondisi lingkungan laut yang efisiensi inhibisinya tertinggi.

#### **1.4 Manfaat**

Manfaat yang didapatkan dari dilakukannya eksperimen ini adalah untuk memberikan informasi tentang pengaruh inhibitor dan konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi baja tulangan beton ST 42, serta memberikan masukan sebagai bahan pertimbangan penentuan inhibitor apa dan dengan konsentrasi berapa yang efisiensi inhibisinya tertinggi dalam menghambat laju korosi pada baja tulangan beton ST 42 di beton bertulang pada kondisi lingkungan laut.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Jenis material baja tulangan beton yang digunakan adalah baja tulangan beton ST 42.
2. Inhibitor yang digunakan adalah dan sodium nitrit, asam askorbat, dan asam karboksilat.
3. Konsentrasi inhibitor yang digunakan adalah 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm.
4. Kondisi lingkungan laut yang digunakan adalah larutan induk media korosif garam dengan salinitas 3,5 %.
5. Proses perendaman untuk uji laju korosi pada spesimen baja tulangan beton ST 42 dilakukan dengan adanya selimut beton yang membungkus.
6. Beton yang digunakan adalah beton mutu K 350 berumur 7 hari.
7. Proses perendaman dilakukan selama 14 hari.
8. Temperatur ruangan diabaikan.
9. Kesalahan manusia diabaikan.
10. Penentuan besar laju korosi dihitung dengan metode *weight loss*.

11. Eksperimen penelitian korosi dilakukan di Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS.
12. Uji Tekan Beton dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, ITS.
13. Uji mikro dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan, Jurusan Teknik Perkapalan, ITS.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Korosi baja tulangan beton merupakan faktor utama penyebab berkurangnya umur layanan struktur beton bertulang. Lingkungan beton yang alkalin ( $\text{pH} = 12\text{-}13$ ) pada dasarnya akan memberikan proteksi korosi yang sangat baik terhadap baja tulangan. Ketahanan korosi baja dalam lingkungan beton ini disebabkan oleh terbentuknya selaput tipis yang memproteksi permukaan baja. Korosi pada beton dapat terjadi ketika lingkungan yang sudah tercemar dan sudah mengandung banyak zat-zat korosif menyerang beton dan pada akhirnya akan merusak lapisan pasif pada permukaan tulangan (Herdiansjah, 2003).

Beberapa cara yang dapat memperlambat laju reaksi korosi antara lain dengan cara pelapisan permukaan logam agar terpisah dari media korosif, membuat paduan logam yang cocok sehingga tahan korosi, dan dengan penambahan zat tertentu yang berfungsi sebagai inhibitor reaksi korosi (Surdia, 1979). Teknologi penggunaan inhibitor untuk menghambat laju korosi pada baja tulangan telah banyak dikembangkan dan diteliti. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi dampak buruk yang terjadi akibat korosi pada baja tulangan beton.

#### **2.2 Dasar Teori**

##### **2.2.1 Beton**

Beton adalah istilah yang digunakan untuk menyatakan campuran antara semen, pasir (agregat halus), kerikil (agregat kasar), dan air yang mengeras menjadi padat menyerupai batu. Juliawati (2003) menjelaskan bahwa air dan semen akan membentuk pasta semen. Pasta semen ini merupakan bahan pengisi yang mengikat agregat halus dan agregat kasar secara keseluruhan. Rarasati (2003) menjelaskan bahwa agregat, baik pasir

maupun kerikil memiliki fungsi sebagai zat pengisi dan penguat beton yang akan meningkatkan kekuatan beton.

### 2.2.2 Baja Tulangan

Baja tulangan pada struktur beton berfungsi untuk menahan gaya tarik yang terjadi pada struktur beton bertulang (Herdiansjah, 2003). Pada saat baja ditarik, terjadi beberapa kondisi, yaitu baja dapat bersifat elastis, plastis dan kemudian putus. Sifat elastis baja terjadi apabila baja ditarik kemudian dapat kembali ke bentuk semula. Sedangkan jika sudah mencapai sifat plastis maka baja tidak akan dapat kembali ke bentuk semula. Jika baja terus ditarik maka baja akan mengalami titik jenuh yang pada akhirnya akan putus.



Gambar 2.1 Hubungan Tegangan dan Regangan pada Baja

(<http://www.infometrik.com/wp-content/uploads/2009/09/image0061.gif>)

### 2.2.3 Baja Tulangan Beton ST 42

Baja ST 42 merupakan baja karbon rendah, kadar karbonnya sampai 0,30%. Dalam penggunaannya, baja jenis ini dapat digunakan untuk baja profil rangka bangunan, baja tulangan beton, rangka kendaraan, mur baut, pelat, pipa, dan lainnya. Strukturnya terdiri dari ferrit dan sedikit perlite, sehingga baja ini kekuatannya relative rendah dan lunak, tetapi keuletannya tinggi. Ada juga yang membagi lagi kelompok ini yang kadar karbonnya

sangat rendah, kurang dari 0,15% sebagai dead mild steel, yang biasanya digunakan untuk baja lembaran, besi beton, besi strip, dan lainnya (Sa, 2012).

Pada material baja ST 42, pengertian ST 42 sendiri adalah satuan ukur yang menyatakan tegangan tarik minimum yang dimiliki oleh baja tersebut. Ini artinya bahwa ST 42 memiliki tegangan tarik minimum sebesar 42 Kg/mm<sup>2</sup>. Tegangan tarik yang dimiliki oleh baja ST 42 bisa mencapai 50 Kg/mm<sup>2</sup> (Nanulaitta, 2012).

Tabel 2.1 Tabel Komposisi Baja ST 42

(Sa, S. 2012. Lapres Metalurgi. Mata Kuliah Metalurgi II. Teknik Material dan Metalurgi, ITS. Surabaya.)

Komposisi	Kandungan (%)
C	0,21 max
N	0.009
Mn	1.5
P	0.045
S	0.045

## 2.2.4 Korosi

### 2.2.4.1 Definisi Korosi

Korosi adalah proses rusaknya material yang disebabkan karena adanya pengaruh dari lingkungan material tersebut (Fontana, 1987). Korosi merupakan proses elektrokimia dimana sistem terdiri atas larutan yang berfungsi sebagai elektrolit dan anoda serta katoda terbentuk karena adanya ketidakhomogenan pada suatu permukaan logam atau dua jenis logam yang saling berhubungan.

### 2.2.4.2 Mekanisme Korosi pada Baja Tulangan

Korosi pada baja dapat berarti hilangnya atom besi (Fe) dari baja itu sendiri. Hilangnya atom besi diakibatkan oleh reaksi elektrokimia dan kemudian larut ke dalam air di sekitarnya, dalam bentuk ion Fe<sup>2+</sup>. Akibat adanya pelarutan ini terjadi kehilangan massa pada baja karena berkurangnya luas penampang baja. Pada struktur beton bertulang, berkurangnya luas penampang baja akan mengakibatkan peningkatan

tegangan. Pada kasus yang ekstrim, kenaikan ini dapat menimbulkan resiko kerusakan bahkan mungkin dapat terjadi kehancuran.

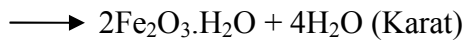
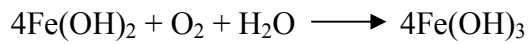
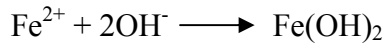
Rarasati (2003) menyatakan bahwa efek lainnya yang dapat terjadi dari korosi ini adalah terbentuknya berbagai macam karat, yang diakibatkan oleh ion  $\text{Fe}^{2+}$  yang terlarut bereaksi dengan ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) dan oksigen ( $\text{O}_2$ ). Pembentukan karat ini dapat mengakibatkan retaknya selimut beton yang dapat merusak beton terlebih lagi pada lingkungan yang tidak kondusif.

Korosi baja pada beton merupakan proses elektrokimia . Proses korosi pada dasarnya melibatkan dua reaksi kimia yang berbeda, namun berpasangan, yang terjadi pada dua buah sisi permukaan baja yang berbeda. Reaksi ini harus terjadi pada siklus tertutup antara kedua sisi tersebut supaya dapat berlangsung. Proses korosi ini hampir sama dengan yang terjadi pada baterai, yang dikenal sebagai sel galvanik, oleh karena itu proses korosi dapat juga disebut sebagai korosi galvanik.

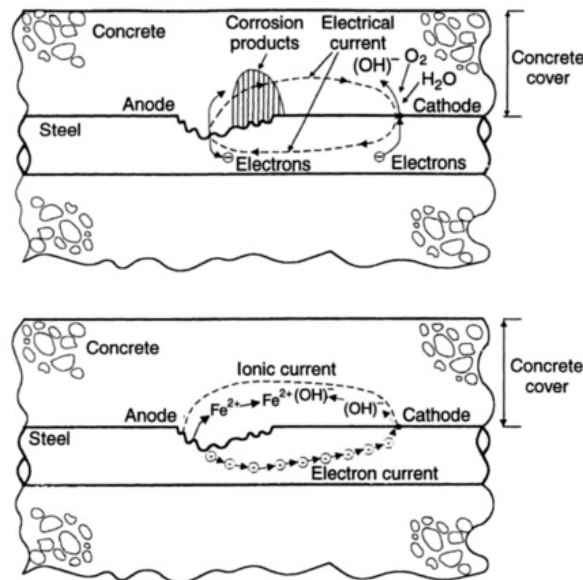
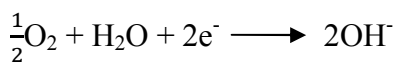
Pada korosi terdapat dua reaksi elektrokimia yang dikenal sebagai reaksi anodik dan katodik. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.2. Hilangnya logam terjadi pada sisi anodik. Atom Fe larut dalam air yang ada di sekeliling baja lalu terion menjadi  $\text{Fe}^{2+}$ . Kemudian elektron mengalir di sepanjang baja dari potensial tinggi (sisi anodik) ke potensial rendah (sisi katodik). Supaya reaksi korosi dapat terus berlangsung maka jumlah elektron yang didonorkan dari daerah anodik harus sama dengan jumlah elektron yang diterima oleh daerah katodik. Dengan demikian, dibutuhkan molekul oksigen yang bereaksi pada daerah katodik sehingga dua atom Fe dapat terionisasi dan larut dalam daerah anodik. Oleh karena itu, jika pada daerah katodik tidak terdapat air dan oksigen maka proses korosi tidak akan terjadi. Selain itu juga terdapat air pori beton yang mengandung alkali dan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  serta dapat menjadi sistem transportasi bagi aliran ion. Korosi bisa tidak terjadi jika dalam beton tidak ada air pori.

Adapun reaksi proses korosi baja tulangan pada beton adalah sebagai berikut:

Reaksi Anoda:



Reaksi Katoda:



Gambar 2.2 Reaksi Korosi pada Daerah Anodik dan Katodik

(Bentur, Arnon, et, al. Steel Corrosion in Concrete: Fundamental and Civil Engineering Practice. E & FN SPON. London: 1997. Hal:8.)

### 2.2.4.3 Aspek-Aspek Penyebab Korosi

#### a. Salinitas

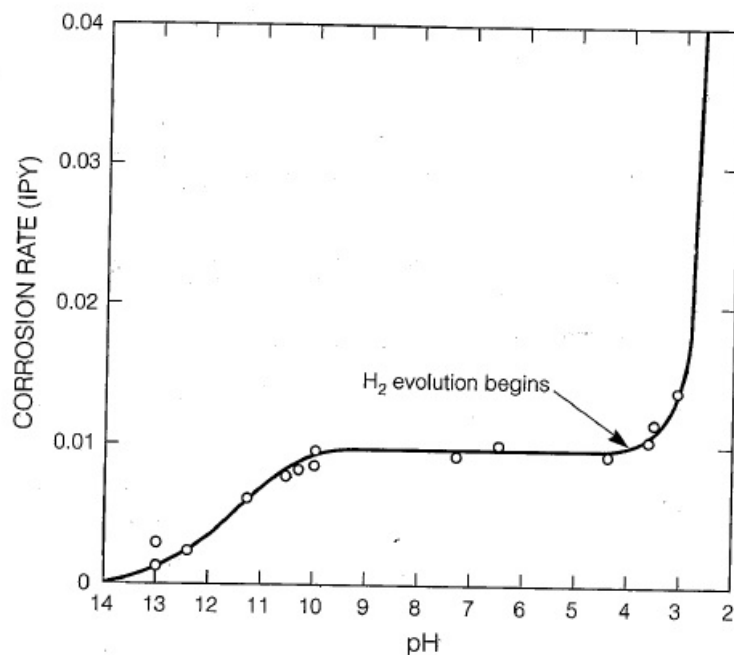
Salinitas adalah tingkat kadar garam yang berada di laut, yang berbeda kadar garamnya pada setiap kedalaman air laut. Salinitas juga bisa diartikan sebagai banyaknya kadar garam dalam satuan gram yang ada pada setiap liter air. Sebagai contoh permasalahan salinitas, yang dimaksud dengan salinitas 35 ‰ atau biasa ditulis 3,5 ‰ adalah kadar garam

sebanyak 35 gram per liter air. Salinitas sangat berpengaruh pada laju korosi, semakin tinggi salinitas maka semakin cepat pula laju korosi yang terjadi.

### **b. pH**

Derajat keasaman atau yang biasa disebut pH adalah sebuah pengukuran aktifitas ion-ion hidrogen,  $H^+$ , yang ada dalam air. Efek pH pada korosi besi dapat ditunjukkan gambar 3.3. Dalam kebanyakan air tercemar, aktifitas ion hidrogen hampir sama dengan konsentrasinya. pH adalah faktor penting untuk mengukur korosi karena  $H^+$  adalah salah satu dari unsur-unsur yang menerima elektron yang dilepaskan oleh sebuah logam pada saat dia mengalami korosi.

Pada nilai-nilai pH kurang dari 4, maka besi akan mengalami laju korosi yang cepat dan menyeluruh. Pada nilai-nilai pH diatas 10 maka besi tidak akan mudah terkorosi. Sedangkan pada pH antara 4 dan 10, korosi dapat saja terjadi dan nilainya konstan.



Gambar 2.3 Grafik Perbandingan pH Terhadap Laju Korosi

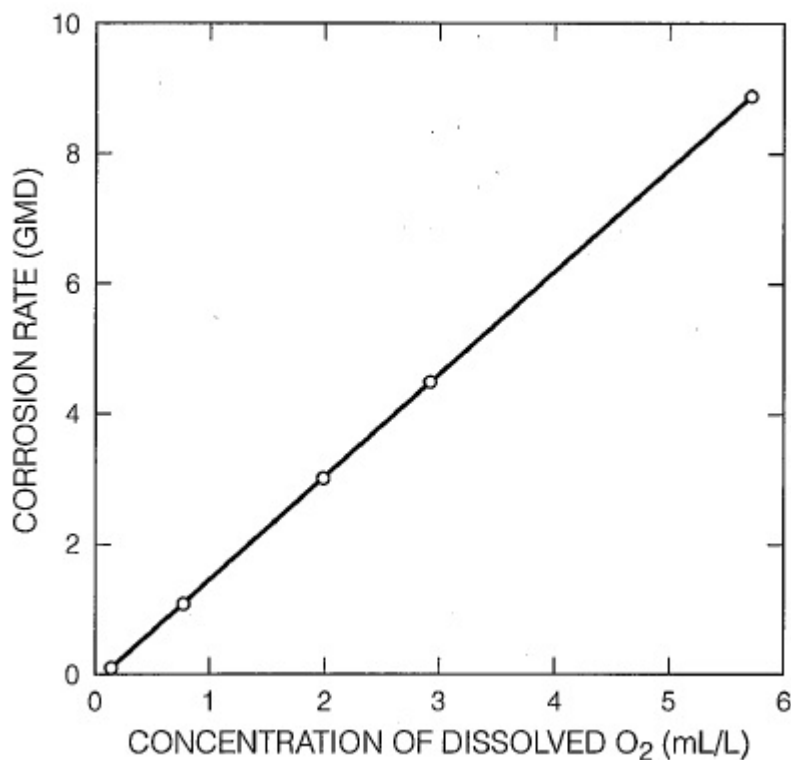
(Jones, Danny A. Principles and Prevention of Corrosion, Prentice Hall.

Singapore: 1997. Hal: 358)

### c. Oksigen Terlarut (Dissolved Oxygen / DO)

Oksigen adalah salah satu dari perantara korosi yang paling umum dan penting. Dalam banyak kasus, DO adalah unsur yang menerima elektron-elektron yang dilepaskan oleh logam yang mengalami korosi sehingga reaksi berlanjut. Oksigen bereaksi dengan gas hidrogen,  $H_2$ , yang dilepaskan pada katoda, memindahkan gas hidrogen dari katoda dan membolehkan reaksi korosi berlanjut. Oksigen juga bereaksi dengan sembarang ion-ion besi ferus dan mengubahnya menjadi besi ferik. Ion-ion besi ferus,  $Fe^{2+}$ , larut dalam air, tetapi ion-ion ferik adalah hidroksida yang tidak larut

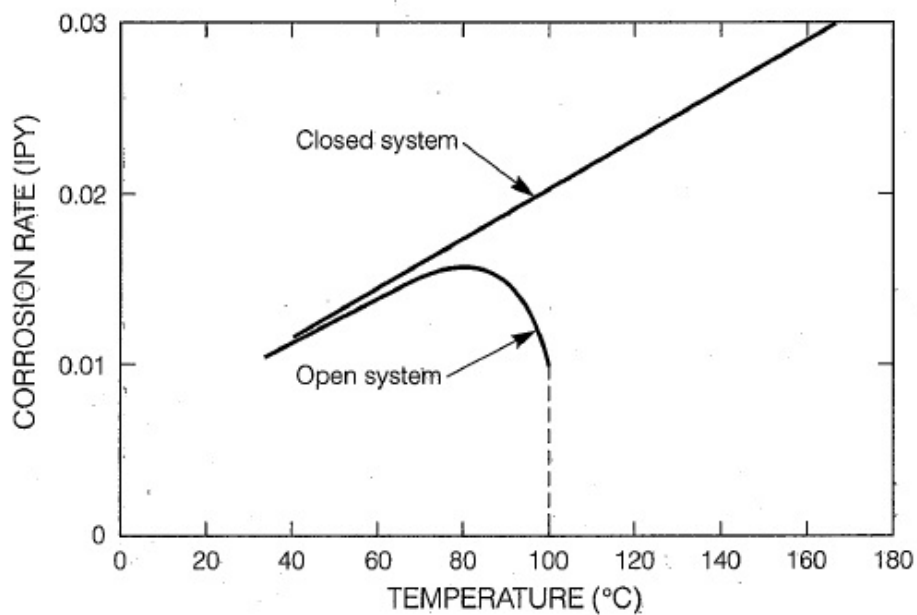
Pada gambar 3.4. dapat diperlihatkan hubungan antara konsentrasi DO dengan laju korosi. Terlihat bahwa semakin tinggi jumlah DO maka laju korosi juga akan meningkat secara linier



Gambar 2.4 Grafik Perbandingan Konsentrasi DO dengan Laju Korosi  
(Jones, Danny A. Principles and Prevention of Corrosion, Prentice Hall.  
Singapore: 1997. Hal: 360.)

#### d. Temperatur

Untuk baja, pemanasan diatas suhu ruangan tidak hanya akan menaikkan laju korosi, tetapi juga akan menurunkan kelarutan dari DO. Diatas suhu 80 C, laju korosi akan menurun jika terjadi pada sistem terbuka, dimana memungkinkan oksigen untuk melarikan diri. Namun demikian, pada sistem tertutup yang menahan kaburnya oksigen, laju korosi akan meningkat, bahkan pada temperatur di atas 80 C. Seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.5.



Gambar 2.5 Efek Temperatur pada Laju Korosi

(Jones, Danny A. Principles and Prevention of Corrosion, Prentice Hall.  
Singapore: 1997. Hal: 362)

#### 2.2.4.4 Analisa Laju Korosi Metode Weight Loss

Korosi dapat terjadi pada setiap logam, walaupun pada logam tersebut telah dilakukan perlindungan atau proteksi. Korosi ini terjadi disebabkan karena adanya ion-ion agresif yang masuk dalam elektrolit, ion agresif ini akan meningkatkan laju korosi dari suatu logam. Pengamatan laju korosi kemudian dilakukan agar dapat diketahui ketahanan logam tersebut terhadap lingkungan yang korosif. Metode kehilangan berat atau yang biasa



disebut dengan metode *weight loss* merupakan metode yang dapat digunakan untuk menentukan laju korosi pada suatu logam.

Metode ini dipakai berdasarkan pada kehilangan berat yang dialami logam sebagai akibat dari proses penetrasi ion agresif selama proses korosi. Proses korosi tersebut dihitung berdasarkan pada jangka waktu penelitian yang dilakukan. Jumlah kehilangan berat akibat korosi dapat dihitung menggunakan rumus yang ada pada ASTM G 31 - 72 sebagai berikut:

$$CR = \frac{K \times W}{D \times A \times T}$$

dimana,

CR = *corrosion rate* / laju korosi

K = konstanta laju korosi (untuk mpy,  $k = 3,45 \times 10^6$ )

W = kehilangan berat (g)

D = densitas spesimen ( $\text{g/cm}^3$ )

A = luas area spesimen ( $\text{cm}^2$ )

T = waktu ekspos yang diperlukan (jam)

#### **2.2.4.5 Pengendalian Korosi**

Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu faktor logam dan faktor lingkungan. Jumlah paduan logam maupun variasi lingkungan sangat banyak, sehingga dapat diperkirakan bahwa persoalan korosi tampaknya sangatlah kompleks. Rarasati (2003) menjelaskan bahwa dasar-dasar pengendalian korosi dapat dibagi menjadi beberapa metode, antara lain:

##### **a. Memisahkan Logam dari Lingkungannya**

Memisahkan logam dari lingkungan adalah cara yang sangat populer dan banyak dilakukan. Teknik perlindungan dapat dilakukan dengan cara pengecatan, penyemprotan, pembalutan, pencelupan dan sebagainya.

##### **b. Meningkatkan Ketahanan Korosi Logam**

Meningkatkan ketahanan korosi logam dimaksudkan untuk memperoleh ketahanan korosi dari logam dalam lingkungan tertentu.

Ketahanan korosi dari logam dapat diperoleh karena pada permukaan logam dapat dihindarkan adanya daerah-daerah anodik dan katodik atau menjadikan permukaan logam tertutup oleh lapisan yang protektif. Cara ini akan melibatkan harga logam yang sangat tinggi.

#### **c. Membalikkan Arah Arus Korosi**

Proses korosi logam dengan cara ini dapat dikurangi dengan sangat efektif. Cara ini biasa kita kenal dengan istilah ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*). atau proteksi katodik yang proses korosinya dicegah dengan jalan memperlakukan logam yang dilindungi sebagai katoda.

#### **d. Menciptakan Lingkungan yang Tidak Korosif**

Cara ini biasanya menggunakan zat-zat kimia yang ditambahkan kedalam lingkungan elektrolit. Cara ini cocok untuk lingkungan yang terbatas dan terkontrol. Zat-zat yang ditambahkan dapat mempengaruhi reaksi-reaksi di anoda, katoda atau keduanya, sehingga proses korosi dapat dihambat. Zat yang ditambahkan kedalam lingkungan inilah yang dinamakan inhibitor.

### **2.2.5 Inhibitor**

#### **2.2.5.1 Definisi Inhibitor**

Inhibitor adalah suatu bahan kimia yang ketika ditambahkan dalam jumlah konsentrasi yang tertentu pada suatu lingkungan, dapat secara efektif mengurangi laju korosi. Inhibitor bereaksi dengan permukaan logam yang terekspos dalam suatu lingkungan dan akan memberikan proteksi pada permukaan tersebut. Halomoan (2003) menjelaskan bahwa inhibitor bekerja dengan cara mengadsorpsi kedalam permukaan logam dan melindunginya dengan membentuk sebuah lapisan film. Inhibitor akan menurunkan proses korosi dengan cara:

- Meningkatkan perilaku polarisasi anodik atau katodik
- Mengurangi pergerakan atau difusi ion-ion ke permukaan logam
- Meningkatkan tahanan listrik permukaan logam

Halomoan (2003) dan Nasution (2012) menyatakan bahwa efisiensi inhibisi dari suatu inhibitor dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Inhibisi (\%)} = 100 \frac{(CR_{uninhibited} - CR_{inhibited})}{CR_{uninhibited}}$$

dimana,

CR uninhibited = laju korosi pada sistem yang tidak terinhibisi (mpy)

CR inhibited = laju korosi pada sistem yang terinhibisi (mpy)

Nilai efisiensi inhibisi pada masing-masing inhibitor mempunyai nilai yang berbeda-beda. Faktor yang mempengaruhi efisiensi inhibisi dari suatu inhibitor antara lain adalah ukuran molekul organik, ikatan yang saling berhubungan, lengan karbon, kekuatan ikat pada logam, dan tipe serta jumlah dari ikatan atom atau molekul tersebut.

Agar dapat berfungsi secara efisien, inhibitor yang digunakan harus sesuai dengan lingkungan yang ada. Perlakuan yang sesuai akan memberikan efek yang diinginkan. Inhibitor digunakan untuk proteksi berbagai jenis logam dari serangan korosi misalnya dalam proses cuci asam, ekstraksi, proses pengolahan minyak dan gas, peralatan penukar panas, proses pengolahan air, konstruksi mesin, campuran beton pada beton bertulang, dan lain-lain (Halomoan, 2003).

#### **2.2.5.2 Inhibitor Sodium Nitrit**

Hayyan (2012) menjelaskan bahwa Sodium nitrit ( $\text{NaNO}_2$ ) merupakan inhibitor anodik yang sangat efektif untuk menghambat laju korosi pada logam. Cara kerjanya adalah dengan menurunkan reaksi anodik yang terjadi pada logam dan meningkatkan potensial korosi pada logam.

#### **2.2.5.3 Inhibitor Asam Askorbat**

Asam askorbat merupakan vitamin C dalam keadaan murni yang berbentuk kristal berwarna putih atau kekuningan. Aziz 2013 menyatakan bahwa Asam askorbat juga disebut dengan asam heksuronat ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ). Halomoan (2003) menjelaskan bahwa inhibitor asam askorbat merupakan

inhibitor anodik yang dapat menurunkan reaksi anodik pada logam. Hal inilah yang menyebabkan turunnya laju korosi pada baja tulangan beton.

#### **2.2.5.4 Inhibitor Asam Karboksilat**

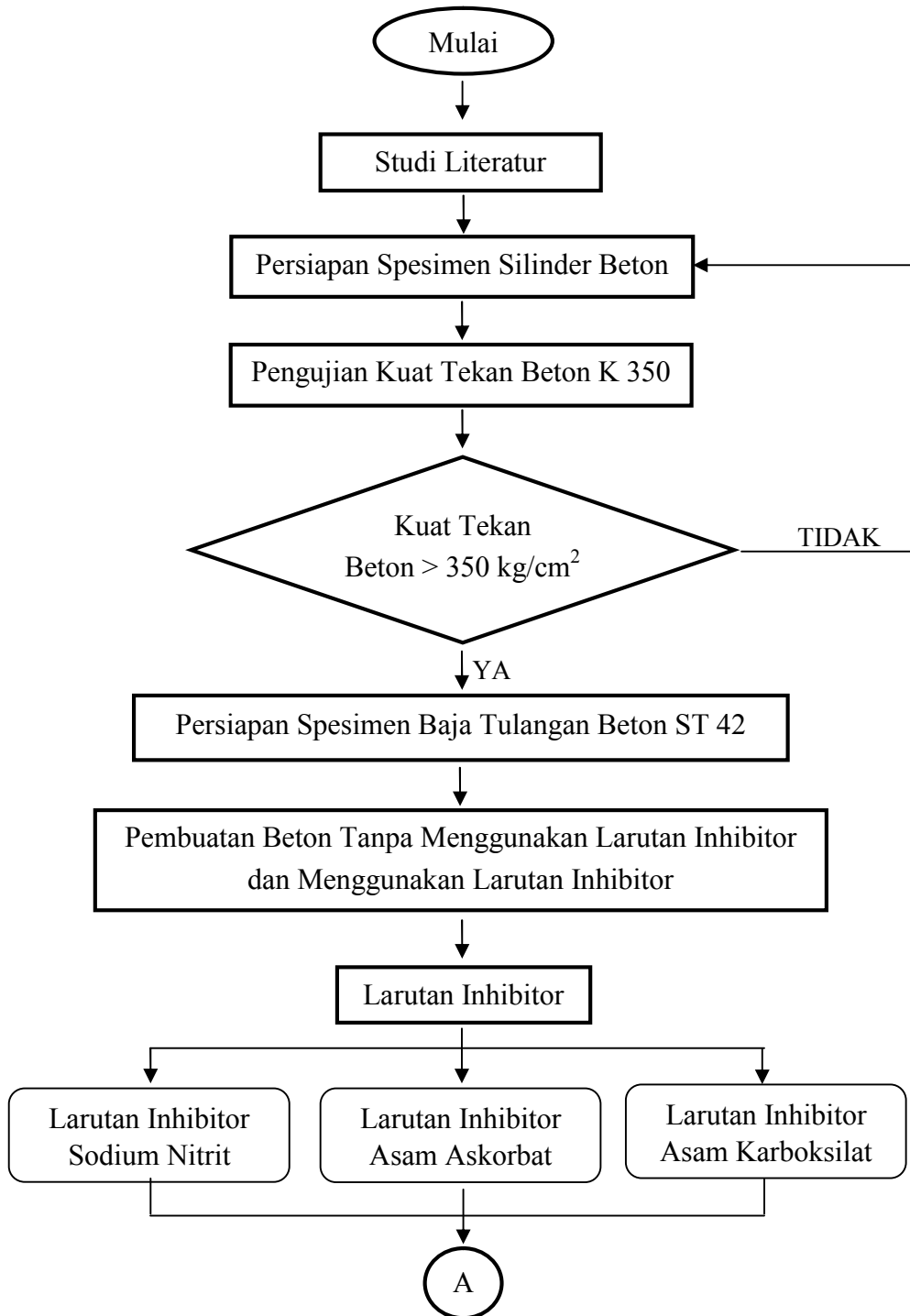
Juliawati (2003) menjelaskan bahwa Asam karboksilat adalah suatu senyawa organik yang mengandung gugus karboksil. Asam karboksilat yang bisa juga disebut dengan asam alkanoat ini merupakan senyawa yang mempunyai unsur C, O, dan H (-COOH). Inhibitor asam karboksilat ini dapat menghambat laju korosi pada logam karena akan terjadi reaksi tarik-menarik oksigen antara besi dan asam karboksilat, sehingga dapat menurunkan laju korosi pada baja tulangan beton.

## BAB III

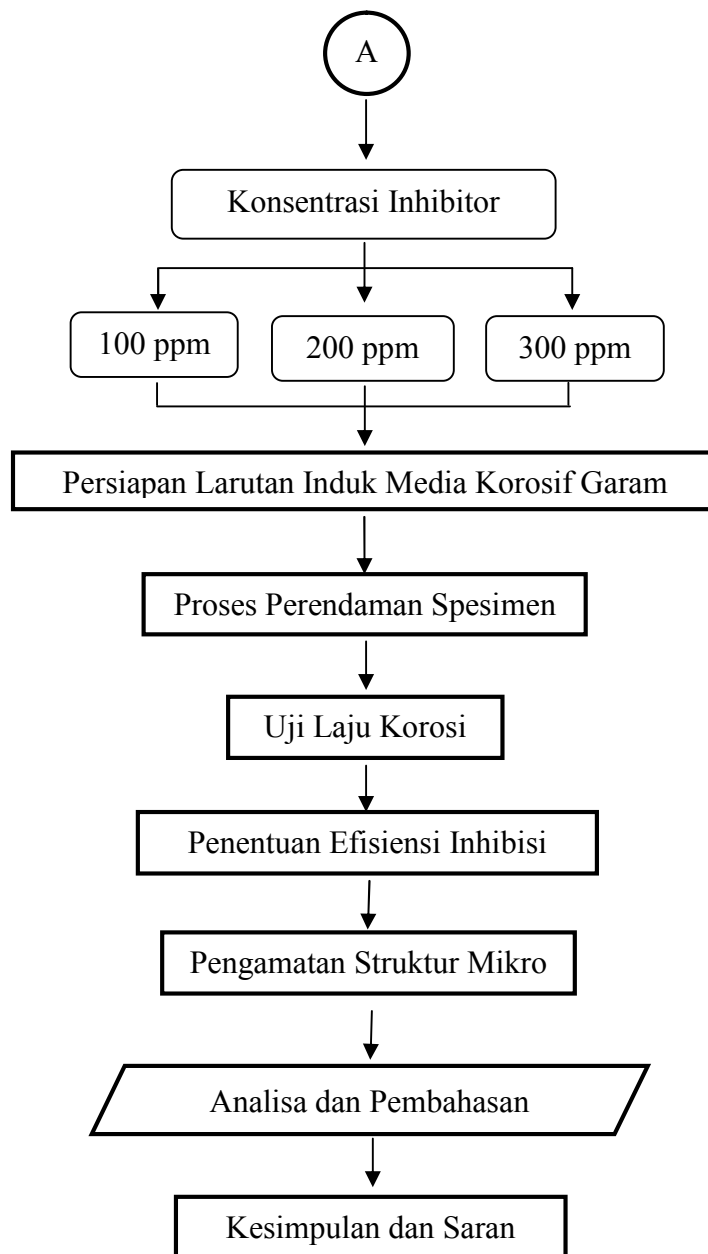
### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)

### 3.2 Prosedur Penelitian

#### 1. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Tugas akhir ini diawali dengan pemahaman materi melalui apa yang didapatkan penulis di mata kuliah Korosi. Kemudian dilanjutkan dengan mempelajari buku, jurnal, proseding, dan tugas akhir terdahulu yang membahas tentang permasalahan yang berhubungan dengan tugas akhir ini. Literatur tersebut digunakan sebagai referensi dalam penulisan tugas akhir ini.

## 2. Persiapan Spesimen Silinder Beton dan Pengujian Kuat Tekan Beton K 350

Dalam penelitian tugas akhir ini, beton yang dipakai adalah beton mutu K 350 berumur 7 hari. Pengujian kuat tekan beton ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan yang dimiliki oleh beton mutu K 350 pada umur 7 hari tersebut. Pengujian ini dilaksanakan berdasarkan Buku Petunjuk Praktikum Teknologi beton dan Bahan Teknik Sipil ITS yang mengacu pada ASTM C 39.

Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan beton adalah semen, pasir (agregat halus), kerikil (agregat kasar), dan air. Beton yang digunakan pada penelitian ini adalah beton dengan mutu K 350. Pada mutu K 350 ini, perbandingan komposisi semen, pasir, kerikil, dan air adalah jika akan membuat 1 m<sup>3</sup> beton, maka dibutuhkan 448 kg semen, 667 kg pasir, 1000 kg kerikil, dan 215 l air.

Bahan komposisi beton yang telah disiapkan, diaduk menggunakan mesin molen sampai tercampur rata. Kemudian adukan beton tersebut dicetak pada cetakan silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.



Gambar 3.2 Mesin Molen



Gambar 3.3 Adonan Beton Mutu K 350

Sebelum adonan beton diletakkan pada cetakan, permukaan bagian dalam cetakan beton dioleskan oli terlebih dahulu. Tujuannya adalah agar beton tidak lengket pada permukaan cetakan ketika dilepas dari cetakan.



Gambar 3.4 Cetakan Beton



Gambar 3.5 Oli untuk Dioleskan pada Bagian Dalam Cetakan Beton

Setelah cetakan dilapisi dengan oli, adonan dimasukkan ke dalam cetakan. Adonan tersebut dimasukkan ke dalam cetakan setinggi 10 cm demi 10 cm. Ketika mencapai 10 cm pertama, adonan tersebut ditusuk-tusuk menggunakan besi sebanyak 25 kali dan cetakannya digetarkan. Tujuannya agar gelembung yang terjebak di dalam beton dapat keluar dan dapat menghasilkan beton dengan kualitas bagus. Hal yang sama juga dilakukan pada ketinggian 10 cm berikutnya, hingga adonan beton mengisi penuh cetakan betonnya.





Gambar 3.6 Proses Pembuatan Spesimen Beton

Setelah cetakan beton terisi penuh, kemudian bagian atasnya diratakan dengan sekop dan diberi penanda mutu beton dan tanggal pembuatan beton tersebut. Hal ini bertujuan untuk member identitas pada spesimen beton yang telah dibuat.



Gambar 3.7 Permukaan Rata Spesimen Beton

Spesimen beton yang telah didiamkan selama 24 jam siap untuk dibuka dan dilakukan proses curing. Proses curing bertujuan untuk menjaga beton agar tidak retak akibat proses pengeringan beton yang tidak merata. Proses curing ini dilakukan dengan cara direndam pada kolam yang berisi air dan siap diangkat dari kolam ketika akan dilakukan pengujian kuat tekan beton.

Dalam studi kasus penelitian tugas akhir ini, beton yang akan diuji adalah beton dengan umur 7 hari. Setelah umur 7 hari, beton diangkat dari kolam dan lap menggunakan lap lembab.



Gambar 3.8 Proses Curing

Setelah beton dikeringkan, permukaan spesimen yang tidak rata harus diratakan dengan pemberian kaping. Kaping adalah sulfur yang dilelehkan kemudian dicetak pada permukaan spesimen beton yang tidak rata.

Spesimen beton diberi kaping pada permukaan bagian atas spesimen untuk meratakan permukaan bagian atas yang tidak rata. Tujuannya adalah agar ketika pengujian kuat tekan beton, permukaan yang diuji dapat tersebar merata pada seluruh bagian permukaannya.



Gambar 3.9 Spesimen Beton Mutu K 350



Gambar 3.10 Proses Pembuatan Kaping



Gambar 3.11 Spesimen Beton Mutu K 350 yang Telah Diberi Kaping

Spesimen beton yang permukaannya telah rata, siap untuk dilakukan pengujian kuat tekan. Pengujian kuat tekan ini dilakukan menggunakan mesin uji kuat tekan beton yang ada di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan, Teknik Sipil, ITS.



Gambar 3.12 Mesin Uji Kuat Tekan Beton



Gambar 3.13 Proses Uji Kuat Tekan Beton

Dari pengujian tersebut didapatkan nilai beban maksimum yang diterima oleh beton. Berdasarkan Buku Petunjuk Praktikum Teknologi Beton dan Bahan Teknik Sipil ITS yang mengacu pada ASTM C 39, nilai kuat tekan beton 7 hari dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Kuat Tekan Beton}_{7 \text{ hari}} = \frac{P}{A}$$

dimana,

Kuat Tekan Beton  $_{7 \text{ hari}}$  = nilai kuat tekan beton benda uji  
umur 7 hari (kg/ cm<sup>2</sup>)

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang benda uji (cm<sup>2</sup>)

Setelah nilai kuat tekan beton umur 7 hari didapatkan, kemudian nilai tersebut dapat dikorelasikan dengan tabel korelasi umur beton untuk mengetahui nilai kuat tekan beton dari rencana mutu beton yaitu K 350. Kuat tekan beton pada korelasi umur beton dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Kuat Tekan Beton} = \frac{\text{Kuat Tekan Beton}_{7 \text{ hari}}}{\text{Korelasi}}$$

dimana,

Kuat Tekan Beton = nilai kuat tekan beton korelasi  
benda uji (kg/ cm<sup>2</sup>)

Kuat Tekan Beton  $_{7 \text{ hari}}$  = nilai kuat tekan benda uji  
umur 7 hari (kg/ cm<sup>2</sup>)

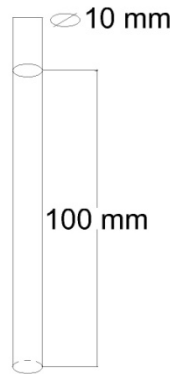
Tabel 3.1 Tabel Korelasi Umur Beton

umur/ hari	korelasi	umur/ hari	korelasi	umur/ hari	korelasi	umur/ hari	korelasi	umur/ hari	korelasi	umur/ hari	korelasi	umur/ hari	korelasi	umur/ hari	korelasi	umur/ hari	korelasi
1	0.25	46	1.07	91	1.13	136	1.15	181	1.16	226	1.17	271	1.18	316	1.18	361	1.18
2	0.36	47	1.07	92	1.13	137	1.15	182	1.16	227	1.17	272	1.18	317	1.18	362	1.18
3	0.50	48	1.07	93	1.13	138	1.15	183	1.16	228	1.17	273	1.18	318	1.18	363	1.18
4	0.54	49	1.07	94	1.13	139	1.15	184	1.16	229	1.17	274	1.18	319	1.18	364	1.18
5	0.61	50	1.08	95	1.13	140	1.15	185	1.16	230	1.17	275	1.18	320	1.18	365	1.18
6	0.65	51	1.08	96	1.13	141	1.15	186	1.16	231	1.17	276	1.18	321	1.18	366	1.18
7	0.70	52	1.08	97	1.13	142	1.15	187	1.16	232	1.17	277	1.18	322	1.18	367	1.18
8	0.71	53	1.08	98	1.13	143	1.15	188	1.16	233	1.17	278	1.18	323	1.18	368	1.18
9	0.77	54	1.08	99	1.13	144	1.15	189	1.16	234	1.17	279	1.18	324	1.18	369	1.18
10	0.80	55	1.09	100	1.13	145	1.15	190	1.16	235	1.17	280	1.18	325	1.18	370	1.18
11	0.82	56	1.09	101	1.13	146	1.15	191	1.16	236	1.17	281	1.18	326	1.18	371	1.18
12	0.84	57	1.09	102	1.13	147	1.15	192	1.16	237	1.17	282	1.18	327	1.18	372	1.19
13	0.86	58	1.09	103	1.13	148	1.15	193	1.17	238	1.17	283	1.18	328	1.18	373	1.19
14	0.88	59	1.09	104	1.13	149	1.15	194	1.17	239	1.17	284	1.18	329	1.18	374	1.19
15	0.89	60	1.09	105	1.14	150	1.15	195	1.17	240	1.17	285	1.18	330	1.18	375	1.19
16	0.91	61	1.10	106	1.14	151	1.15	196	1.17	241	1.17	286	1.18	331	1.18	376	1.19
17	0.92	62	1.10	107	1.14	152	1.16	197	1.17	242	1.17	287	1.18	332	1.18	377	1.19
18	0.93	63	1.10	108	1.14	153	1.16	198	1.17	243	1.17	288	1.18	333	1.18	378	1.19
19	0.94	64	1.10	109	1.14	154	1.16	199	1.17	244	1.17	289	1.18	334	1.18	379	1.19
20	1.00	65	1.10	110	1.14	155	1.16	200	1.17	245	1.17	290	1.18	335	1.18	380	1.19
21	0.96	66	1.10	111	1.14	156	1.16	201	1.17	246	1.17	291	1.18	336	1.18	381	1.19
22	0.97	67	1.10	112	1.14	157	1.16	202	1.17	247	1.17	292	1.18	337	1.18	382	1.19
23	0.97	68	1.10	113	1.14	158	1.16	203	1.17	248	1.17	293	1.18	338	1.18	383	1.19
24	0.98	69	1.11	114	1.14	159	1.16	204	1.17	249	1.17	294	1.18	339	1.18	384	1.19
25	0.99	70	1.11	115	1.14	160	1.16	205	1.17	250	1.17	295	1.18	340	1.18	385	1.19
26	0.99	71	1.11	116	1.14	161	1.16	206	1.17	251	1.17	296	1.18	341	1.18	386	1.19
27	1.00	72	1.11	117	1.14	162	1.16	207	1.17	252	1.17	297	1.18	342	1.18	387	1.19
28	1.00	73	1.11	118	1.14	163	1.16	208	1.17	253	1.17	298	1.18	343	1.18	388	1.19
29	1.01	74	1.11	119	1.14	164	1.16	209	1.17	254	1.17	299	1.18	344	1.18	389	1.19
30	1.01	75	1.11	120	1.14	165	1.16	210	1.17	255	1.17	300	1.18	345	1.18	390	1.19
31	1.02	76	1.11	121	1.14	166	1.16	211	1.17	256	1.17	301	1.18	346	1.18	391	1.19
32	1.02	77	1.11	122	1.14	167	1.16	212	1.17	257	1.18	302	1.18	347	1.18	392	1.19
33	1.03	78	1.12	123	1.14	168	1.16	213	1.17	258	1.18	303	1.18	348	1.18		
34	1.03	79	1.12	124	1.14	169	1.16	214	1.17	259	1.18	304	1.18	349	1.18		
35	1.03	80	1.12	125	1.15	170	1.16	215	1.17	260	1.18	305	1.18	350	1.18		
36	1.04	81	1.12	126	1.15	171	1.16	216	1.17	261	1.18	306	1.18	351	1.18		
37	1.04	82	1.12	127	1.15	172	1.16	217	1.17	262	1.18	307	1.18	352	1.18		
38	1.05	83	1.12	128	1.15	173	1.16	218	1.17	263	1.18	308	1.18	353	1.18		
39	1.05	84	1.12	129	1.15	174	1.16	219	1.17	264	1.18	309	1.18	354	1.18		
40	1.05	85	1.12	130	1.15	175	1.16	220	1.17	265	1.18	310	1.18	355	1.18		
41	1.05	86	1.12	131	1.15	176	1.16	221	1.17	266	1.18	311	1.18	356	1.18		
42	1.06	87	1.12	132	1.15	177	1.16	222	1.17	267	1.18	312	1.18	357	1.18		
43	1.06	88	1.12	133	1.15	178	1.16	223	1.17	268	1.18	313	1.18	358	1.18		
44	1.06	89	1.12	134	1.15	179	1.16	224	1.17	269	1.18	314	1.18	359	1.18		
45	1.06	90	1.13	135	1.15	180	1.16	225	1.17	270	1.18	315	1.18	360	1.18		

### 3. Persiapan Spesimen Baja Tulangan Beton ST 42

Spesimen yang digunakan adalah baja tulangan beton ST 42 dengan diameter 10 mm. Spesimen dipotong dengan ukuran panjang 100 mm sebanyak 12 potong, rinciannya adalah 3 potong untuk beton tanpa inhibitor, 3 potong untuk beton dengan larutan inhibitor sodium nitrit

konsentrasi 100 ppm, 3 potong untuk beton dengan larutan inhibitor sodium nitrit konsentrasi 200 ppm, dan 3 potong untuk beton dengan larutan inhibitor sodium nitrit konsentrasi 300 ppm.



Gambar 3.14 Ukuran Spesimen Baja Tulangan ST 42



Gambar 3.15 Spesimen Baja Tulangan ST 42

Selanjutnya spesimen yang telah dipotong ini dihaluskan dengan ampelas besi. Permukaan yang telah halus dibersihkan dengan aquades, kemudian dikeringkan pada suhu kamar selama 10 menit. Setelah kering, spesimen ditimbang untuk mengetahui berat awal spesimen. Timbangan yang digunakan adalah timbangan digital Mettler Toledo dengan tingkat ketelitian 0,0001 gram.



Gambar 3.16 Timbangan Digital Mettler Toledo

#### 4. Pembuatan Beton Tanpa Menggunakan Larutan Inhibitor dan Menggunakan Larutan Inhibitor

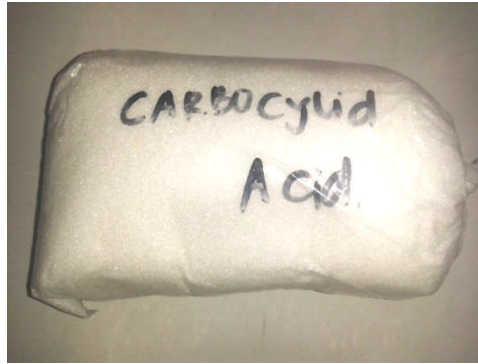
Terdapat 3 jenis inhibitor yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu sodium nitrit, asam askorbat, dan asam karboksilat. Inhibitor tersebut dilarutkan dalam air dengan tiga variasi konsentrasi yang berbeda, yaitu 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm.



Gambar 3.17 Sodium Nitrit



Gambar 3.18 Asam Askorbat



Gambar 3.19 Asam Karboksilat

Pada larutan inhibitor dengan konsentrasi 100 ppm, dibuat dengan cara melarutkan 100 mg inhibitor ke dalam gelas ukur 1000 ml sampai tanda batas. Pada larutan inhibitor dengan konsentrasi 200 ppm, dibuat dengan cara melarutkan 200 mg inhibitor ke dalam gelas ukur 1000 ml sampai tanda batas. Pada larutan inhibitor dengan konsentrasi 300 ppm, dibuat dengan cara melarutkan 300 mg inhibitor ke dalam gelas ukur 1000 ml sampai tanda batas. Nantinya larutan inhibitor ini digunakan untuk bahan pembuatan beton yang menggunakan inhibitor.

Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan beton adalah semen, pasir (agregat halus), kerikil (agregat kasar), dan air. Beton yang digunakan pada penelitian ini adalah beton dengan mutu K 350. Pada mutu K 350 ini, perbandingan komposisi semen, pasir, kerikil, dan air adalah jika akan membuat 1 m<sup>3</sup> beton, maka dibutuhkan 448 kg semen, 667 kg pasir, 1000 kg kerikil, dan 215 l air.



Gambar 3.20 Semen, Pasir (Agregat Halus), dan Kerikil (Agregat Kasar)

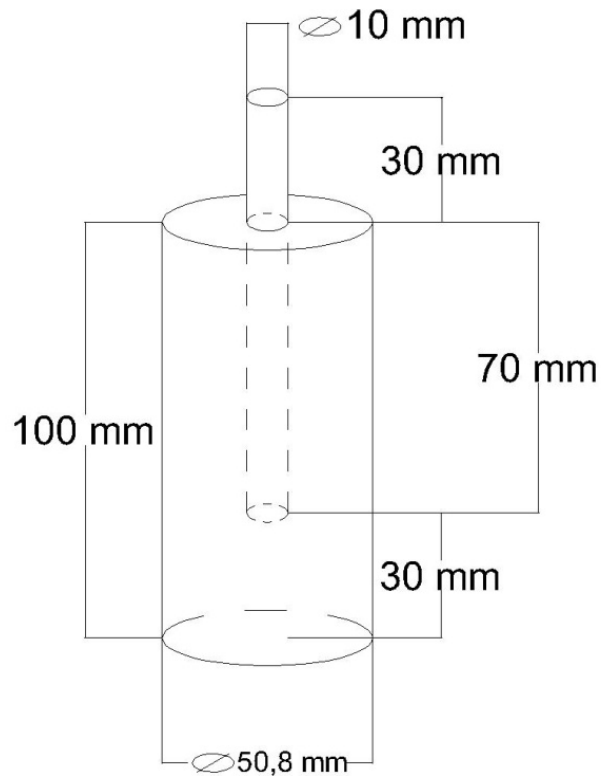


Proses pembuatan beton diawali dengan penakaran bahan komposisi beton. Beton dicetak menggunakan pipa PVC dengan diameter 50,8 mm dan tinggi 100 mm, maka volume beton adalah  $202.580,24 \text{ mm}^3$ . Jadi, komposisi masing-masing bahan yang dibutuhkan untuk membuat beton adalah 0,272 kg semen, 0,405 kg pasir, 0,607 kg kerikil, dan 0,13 l air. Untuk beton yang menggunakan inhibitor, maka airnya menggunakan larutan inhibitor yang telah disiapkan sebelumnya.

Kemudian dilanjutkan dengan pengadukan bahan-bahan yang telah ditakar sebelumnya. Setelah bahan tercampur, maka bahan tersebut siap untuk dilakukan pengecoran pada cetakan pipa PVC. Pada proses pengecoran ini juga dilakukan pemadatan, tujuannya untuk menghilangkan gelembung udara yang terjebak didalam beton. Setelah proses tersebut selesai, dilakukan perawatan dan pengeringan beton.



Gambar 3.21 Pipa PVC sebagai Cetakan Beton



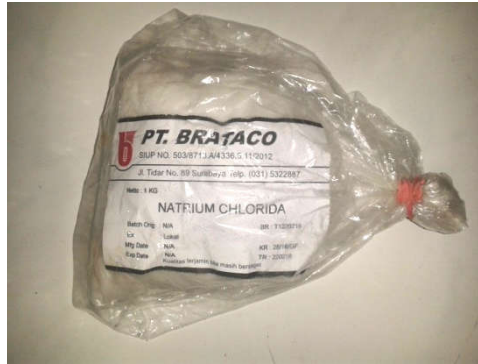
Gambar 3.22 Ukuran Spesimen Beton Bertulang



Gambar 3.23 Spesimen Beton Bertulang

##### 5. Persiapan Larutan Induk Media Korosif Garam

Larutan induk media korosif garam dibuat dengan salinitas 3,5 %. Pada salinitas 3,5 %, perbandingan komposisi garam dan air adalah 35 gr pada 1000 ml air. Garam yang digunakan adalah garam NaCl (Natrium Chlorida) dan air yang digunakan adalah aquades.



Gambar 3.24 Garam NaCl



Gambar 3.25 Aquades

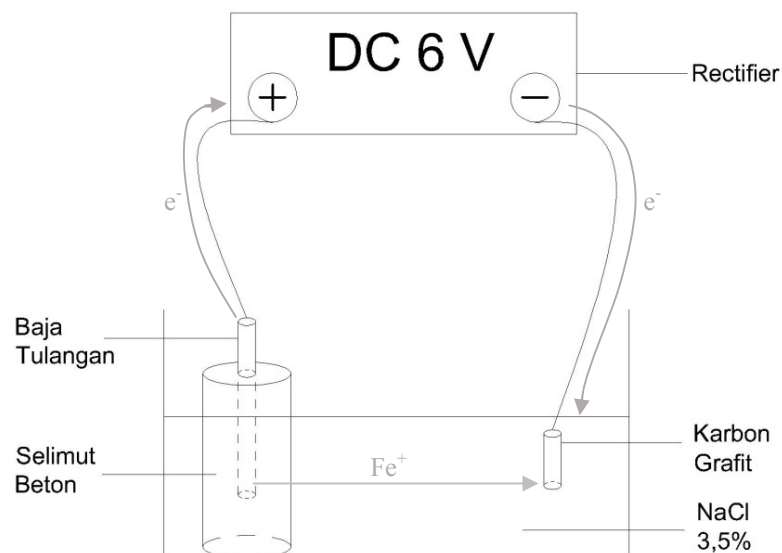
## 6. Proses Perendaman Spesimen

Proses perendaman spesimen dilakukan pada larutan induk media korosif garam dengan salinitas 3,5 % yang telah disiapkan sebelumnya. Ketinggian air untuk perendamannya adalah setinggi 75 mm. Pada penelitian ini, proses perendaman dilakukan selama 14 hari. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS.



Gambar 3.26 Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan,  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS

Proses pengujian ini mengacu pada ASTM C 876. Pengujian ini dilakukan menggunakan arus DC 6 V yang berasal dari rectifier sebagai alat bantu mempercepat korosi pada spesimen beton bertulang. Spesimen beton bertulang diperlakukan sebagai anoda, sedangkan katodanya menggunakan karbon grafit. Proses ini bertujuan untuk mempercepat perpindahan ion  $\text{Fe}^{+}$  dan elektronnya.



Gambar 3.27 Mekanisme Pengujian Korosi dengan Mengaliri Arus



Gambar 3.28 Rectifier



Gambar 3.29 Spesimen Beton Bertulang Tanpa Menggunakan Inhibitor



Gambar 3.30 Spesimen Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 100 ppm



Gambar 3.31 Spesimen Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 200 ppm



Gambar 3.32 Spesimen Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 300 ppm



Gambar 3.33 Spesimen Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Askorbat Konsentrasi 100 ppm



Gambar 3.34 Spesimen Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Askorbat Konsentrasi 200 ppm



Gambar 3.35 Spesimen Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Askorbat Konsentrasi 300 ppm



Gambar 3.36 Spesimen Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Karboksilat Konsentrasi 100 ppm



Gambar 3.37 Spesimen Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Karboksilat Konsentrasi 200 ppm



Gambar 3.38 Spesimen Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Karboksilat Konsentrasi 300 ppm

## 7. Uji Laju Korosi

Dalam penelitian ini, uji laju korosi dihitung menggunakan metode *weight loss*. Untuk mengukur laju korosi pada spesimen baja tulangan beton ST 42, maka harus dicari berat yang hilang akibat korosi.

Sebelum mengukur berat yang hilang pada baja tulangan beton ST 42, langkah yang harus dilakukan adalah pembongkaran beton.

Pembongkaran beton ini bertujuan untuk mengambil baja tulangan beton ST 42 yang telah mengalami korosi akibat direndam dalam larutan induk media korosif garam NaCl salinitas 3,5 % dan dialiri arus DC 6 V.

Baja tulangan beton ST 42 yang telah terpisah dari beton kemudian dibersihkan menggunakan sikat halus untuk membersihkan sisa beton yang masih menempel pada bagian permukaan baja.

Berat awal telah ditimbang dan diketahui ketika tahap persiapan spesimen baja tulangan beton ST 42. Berat akhir ditimbang setelah spesimen baja tulangan beton ST 42 bersih dari sisa beton yang menempel pada bagian permukaan baja. Berat yang hilang dapat dicari dari selisih berat awal dan berat akhir spesimen. Besar berat yang hilang inilah yang akan digunakan dalam perhitungan laju korosi.

Perhitungan laju korosi menggunakan rumus yang ada pada ASTM G 31 - 72 sebagai berikut:

$$CR = \frac{K \times W}{D \times A \times T}$$

dimana,

CR = *corrosion rate* / laju korosi

K = konstanta laju korosi (untuk mpy,  $K = 3,45 \times 10^6$ )

W = kehilangan berat (g)

D = densitas spesimen ( $\text{g/cm}^3$ )

A = luas area spesimen ( $\text{cm}^2$ )

T = waktu ekspos yang diperlukan (jam)

#### 8. Penentuan Efisiensi Inhibisi

Pada penelitian ini perlu dicari inhibitor apa dan dengan konsentrasi berapa yang paling efisien dalam menghambat laju korosi. Penentuan efisiensi inhibisi dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Efisiensi Inhibisi (\%)} = 100 \frac{(CR_{uninhibited} - CR_{inhibited})}{CR_{uninhibited}}$$

dimana,

CR uninhibited = laju korosi pada sistem yang tidak terinhibisi (mpy)

CR inhibited = laju korosi pada sistem yang terinhibisi (mpy)



## 9. Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui apa yang terjadi pada sampel spesimen setelah diuji. Pengamatan dilakukan menggunakan alat khusus yang bernama mikroskop mikro.

Spesimen dipotong terlebih dahulu dari spesimen yang berukuran besar menjadi ukuran yang kecil. Hal ini bertujuan untuk memudahkan pada proses pengamatan struktur mikro.



Gambar 3.39 Spesimen yang Telah Dipotong

Setelah spesimen berukuran kecil, dilakukan pembedakan pada spesimen tersebut. Pembedakan ini bertujuan untuk memudahkan dalam memegang sampel pada saat pengamplasan dan pemolesan. Bahan yang digunakan untuk proses pembedakan ini adalah resin, katalis, dan cetakan pipa PVC. Katalis merupakan bahan kimia yang dapat mempercepat proses pengeringan resin. Proses pengeringan resin memakan waktu selama 2 hari.



Gambar 3.40 Resin



Gambar 3.41 Katalis



Gambar 3.42 Pipa PVC sebagai Cetakan Resin

Setelah resin mengering, resin dikeluarkan dari cetakan pipa PVC, kemudian spesimen tersebut siap untuk dipoles. Proses pemolesan dilakukan dengan menggunakan partikel abrasif tertentu yang berperan sebagai alat pengiris secara berulang-ulang. Partikel abrasive tersebut disatukan dalam lembar kertas yang biasa disebut dengan kertas amplas. Proses pemolesan ini menggunakan kertas amplas dan mesin poles Buehler Ecomet III Polisher Grinder yang ada di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan, Jurusan Teknik Perkapalan, ITS. Kertas amplas yang digunakan adalah kertas amplas nomor 80, 120, 240, 320, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, dan 2000.



Gambar 3.43 Buehler Ecomet III Polisher Grinder

Pengamplasan ini merupakan proses untuk mereduksi permukaan spesimen dengan pergerakan permukaan abrasif dari amplas yang dipasang pada mesin poles, yang berputar secara terus-menerus sehingga dapat mengikis permukaan spesimen. Dari proses pemolesan ini didapatkan permukaan spesimen yang halus seperti kaca sehingga dapat memantulkan cahaya dengan baik ketika proses pengamatan struktur mikro.



Gambar 3.44 Spesimen yang Telah Dipoles

Spesimen yang telah selesai dipoles selanjutnya dibilas menggunakan  $\text{HNO}_3$  dan alkohol untuk membersihkan sisa noda yang masih menempel pada permukaan specimen. Selanjutnya dikeringkan menggunakan alat pengering. Spesimen yang telah kering siap untuk dilakukan pengamatan struktur mikro. Pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop mikro yang terhubung dengan kamera beresolusi 5

megapixel. Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui jenis korosi apa yang terjadi pada spesimen yang diuji.



Gambar 3.45 Proses Pembersihan Menggunakan HNO<sub>3</sub> dan Alkohol



Gambar 3.46 Alat Pengering



Gambar 3.47 Mikroskop Mikro dengan Kamera 5 Megapixel

#### 10. Analisa Hasil Eksperimen dan Pembahasan

Setelah semua data dari eksperimen telah terkumpul, dilakukan analisa dan pembahasan mengenai data hasil eksperimen tersebut tentang inhibitor apa dan dengan konsentrasi berapa yang paling efisien untuk menghambat laju korosi.

## 11. Kesimpulan dan Saran

Kemudian untuk selanjutnya dapat membuat kesimpulan yang sesuai dengan perumusan masalah dalam penelitian ini dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya sebagai penyempurnaan penelitian ini.

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengujian Kuat Tekan Beton

Untuk mengukur kuat tekan beton dilakukan dengan cara pengujian kuat tekan beton di laboratorium. Data nilai kuat tekan beton umur 7 hari dan korelasi kuat tekan beton dengan umur beton adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Tabel Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 7 hari dan Hasil Korelasi Kuat Tekan Beton dengan Umur Beton

No	Kode Spesimen	P (kg)	A (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Beton 7 hari (kg/cm <sup>2</sup> )	Korelasi	Kuat Tekan Beton (kg/cm <sup>2</sup> )
1	K 350 - 1	45600	176,8	258,05	0,7	368,64
2	K 350 - 2	44000		248,99		355,7
3	K 350 - 3	47200		267,1		381,57

Dari data hasil pengujian diatas, nilai kuat tekan beton spesimen K 350 – 1 umur 7 hari sebesar 258,05 kg/cm<sup>2</sup> dan setelah dikorelasikan dengan faktor korelasi umur beton nilai kuat tekannya sebesar 368,64 kg/cm<sup>2</sup>. Nilai kuat tekan beton spesimen K 350 – 2 umur 7 hari sebesar 248,99 kg/cm<sup>2</sup> dan setelah dikorelasikan dengan faktor korelasi umur beton nilai kuat tekannya sebesar 355,7 kg/cm<sup>2</sup>. Nilai kuat tekan beton spesimen K 350 – 1 umur 7 hari sebesar 267,1 kg/cm<sup>2</sup> dan setelah dikorelasikan dengan faktor korelasi umur beton nilai kuat tekannya sebesar 381,57 kg/cm<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton yang diuji telah memenuhi kuat tekan beton rencana yaitu mutu K 350.

#### 4.2 Pengamatan Visual



Gambar 4.1 Terjadi Korosi pada Spesimen Baja Tulangan Beton ST 42

Dalam proses terjadinya korosi pada baja tulangan beton ST 42 yang diteliti, beton yang direndam tersebut akan mengalami penetrasi atau difusi dari larutan induk media korosif garam. Hal ini dapat mempengaruhi nilai dari resistensi yang dimiliki oleh beton tersebut ketika dialiri arus dan kadar  $O_2$  yang ada pada larutan memiliki peranan dalam proses oksidasi terhadap baja tulangan sehingga terjadi korosi. Dapat dilihat dari gambar 4.1 bahwa pada spesimen baja tulangan beton ST 42 telah mengalami perubahan yang diakibatkan oleh korosi.

#### 4.3 Berat yang Hilang

Untuk mengukur laju korosi pada spesimen baja tulangan beton ST 42, maka harus dicari berat yang hilang akibat korosi. Berat awal telah ditimbang pada tahap persiapan spesimen baja tulangan beton ST 42, dan berat akhir telah ditimbang pada saat setelah pengujian korosi berakhir. Proses pengukuran berat ini menggunakan timbangan digital Mettler Toledo. Berat yang hilang dapat dicari dari selisih berat awal dan berat akhir spesimen baja tulangan beton ST 42.

Tabel 4.2 Tabel Berat yang Hilang

No	Spesimen	Kode Spesimen	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Berat yang Hilang (g)
1	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Tanpa Menggunakan Inhibitor	A1	61,0049	35,6988	25,3061
		A2	61,0060	37,3176	23,6884
		A3	60,4994	35,8182	24,6812
2	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 100 ppm	B11	60,9266	40,0038	20,9228
		B12	61,1535	40,2307	20,9228
		B13	61,0971	40,1212	20,9759
3	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 200 ppm	B21	60,6871	41,6831	19,0040
		B22	62,2001	42,8271	19,3730
		B23	60,0378	40,8309	19,2069
4	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 300 ppm	B31	63,1853	47,2602	15,9251
		B32	61,8218	46,0522	15,7696
		B33	61,8327	47,6017	14,2310
5	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Askorbat Konsentrasi 100 ppm	C11	60,6441	38,7644	21,8797
		C12	60,9060	39,0170	21,8890
		C13	61,0166	38,0973	22,9193
6	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Askorbat Konsentrasi 200 ppm	C21	60,8007	41,3208	19,4799
		C22	60,8670	41,1330	19,7340
		C23	61,0174	41,0266	19,9908
7	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Askorbat Konsentrasi 300 ppm	C31	59,3229	43,2249	16,0980
		C32	60,7045	44,0545	16,6500
		C33	61,2681	43,5672	17,7009
8	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Karboksilat Konsentrasi 100 ppm	D11	60,6174	37,2969	23,3205
		D12	61,6868	38,2868	23,4000
		D13	60,5176	36,9430	23,5746
9	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Karboksilat Konsentrasi 200 ppm	D21	62,5495	42,4973	20,0522
		D22	60,0658	39,4386	20,6272
		D23	63,4242	42,7292	20,6950
10	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Karboksilat Konsentrasi 300 ppm	D31	60,8563	43,0598	17,7965
		D32	60,4223	42,2296	18,1927
		D33	60,5699	42,3221	18,2478



#### 4.4. Uji Laju Korosi

Data berat yang hilang yang telah didapatkan sebelumnya digunakan dalam perhitungan laju korosi. Perhitungan laju korosi menggunakan rumus yang ada pada ASTM G 31 - 72 sebagai berikut:

$$CR = \frac{K \times W}{D \times A \times T}$$

dimana,

CR = *corrosion rate* / laju korosi (mpy)

K = konstanta laju korosi (untuk mpy,  $K = 3,45 \times 10^6$ )

W = kehilangan berat (g)

D = densitas spesimen ( $\text{g/cm}^3$ )

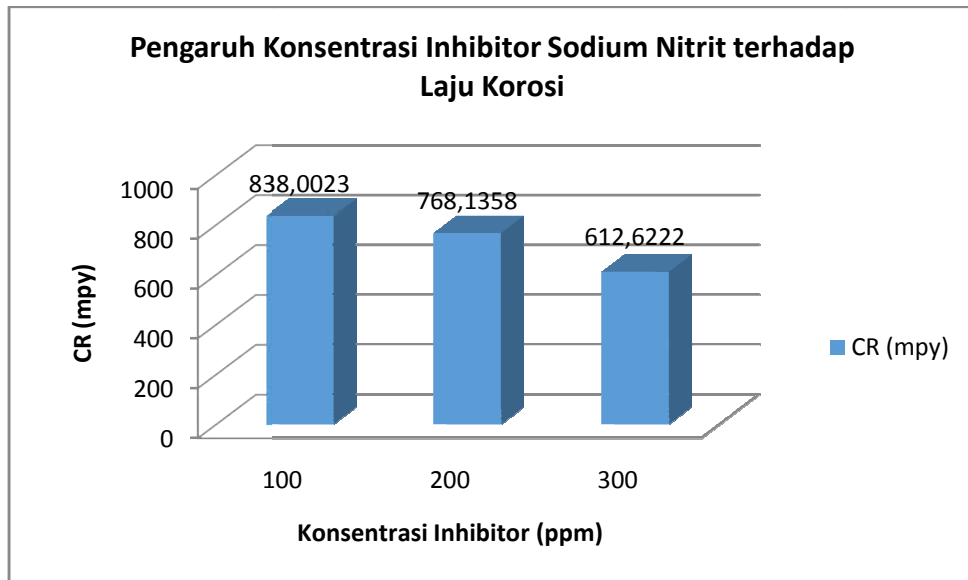
A = luas area spesimen ( $\text{cm}^2$ )

T = waktu ekspos yang diperlukan (jam)

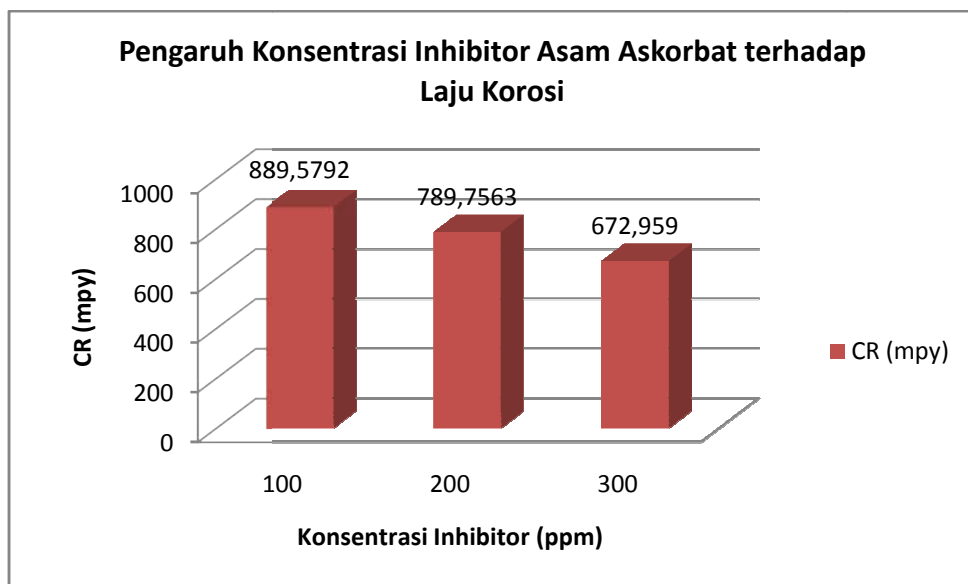
Tabel 4.3 Tabel Laju Korosi

No	Spesimen	Kode Spesimen	Berat yang Hilang (g)	Rata-Rata Berat yang Hilang (g)	CR (mpy)
1	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Tanpa Menggunakan Inhibitor	A1	25,3061	24,5586	982,79105
		A2	23,6884		
		A3	24,6812		
2	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 100 ppm	B11	20,9228	20,9405	838,00232
		B12	20,9228		
		B13	20,9759		
3	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 200 ppm	B21	19,0040	19,1946	768,13578
		B22	19,3730		
		B23	19,2069		
4	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 300 ppm	B31	15,9251	15,3086	612,62216
		B32	15,7696		
		B33	14,2310		
5	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Askorbat Konsentrasi 100 ppm	C11	21,8797	22,2293	889,57919
		C12	21,8890		
		C13	22,9193		
6	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Askorbat Konsentrasi 200 ppm	C21	19,4799	19,7349	789,75631
		C22	19,7340		
		C23	19,9908		
7	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Askorbat Konsentrasi 300 ppm	C31	16,0980	16,8163	672,95902
		C32	16,6500		
		C33	17,7009		
8	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Karboksilat Konsentrasi 100 ppm	D11	23,3205	23,4317	937,6958
		D12	23,4000		
		D13	23,5746		
9	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Karboksilat Konsentrasi 200 ppm	D21	20,0522	20,4581	818,69885
		D22	20,6272		
		D23	20,6950		
10	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Karboksilat Konsentrasi 300 ppm	D31	17,7965	18,0790	723,49008
		D32	18,1927		
		D33	18,2478		

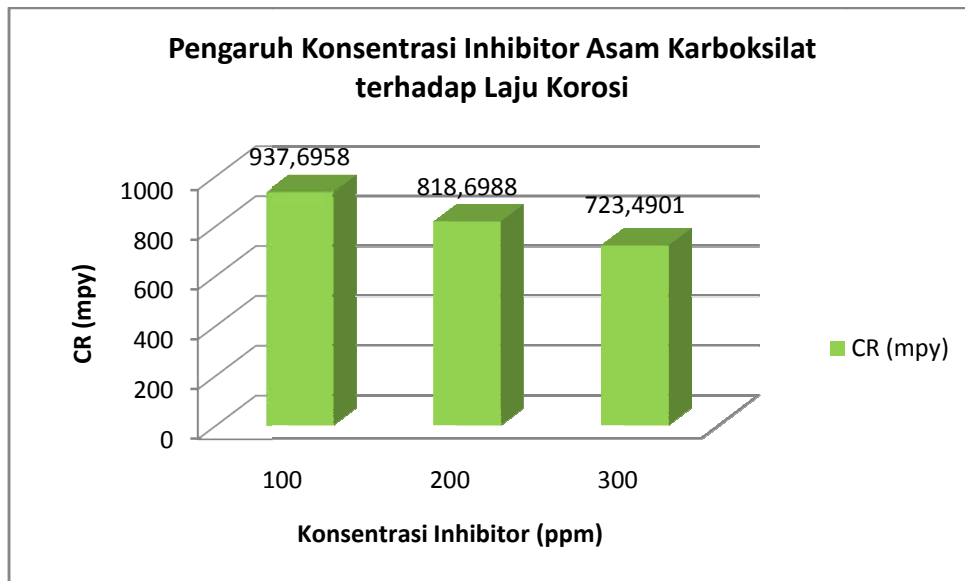
Data-data laju korosi dari Tabel 4.3 diatas dapat selanjutnya dimasukkan ke dalam diagram sebagai berikut:



Gambar 4.2 Diagram Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Sodium Nitrit terhadap Laju Korosi



Gambar 4.3 Diagram Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Asam Askorbat terhadap Laju Korosi



Gambar 4.4 Diagram Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Asam Karboksilat terhadap Laju Korosi

Pada diagram pengaruh konsentrasi inhibitor sodium nitrit terhadap laju korosi di atas, untuk konsentrasi inhibitor 100 ppm didapatkan nilai laju korosi sebesar 838,00232 mpy, untuk konsentrasi inhibitor 200 ppm didapatkan nilai laju korosi sebesar 768,13578 mpy, dan untuk konsentrasi inhibitor 300 ppm didapatkan nilai laju korosi sebesar 612,62216 mpy.

Pada diagram pengaruh konsentrasi inhibitor asam askorbat terhadap laju korosi di atas, untuk konsentrasi inhibitor 100 ppm didapatkan nilai laju korosi sebesar 889,57919 mpy, untuk konsentrasi inhibitor 200 ppm didapatkan nilai laju korosi sebesar 789,75631 mpy, dan untuk konsentrasi inhibitor 300 ppm didapatkan nilai laju korosi sebesar 672,95902 mpy.

Pada diagram pengaruh konsentrasi inhibitor asam karboksilat terhadap laju korosi di atas, untuk konsentrasi inhibitor 100 ppm didapatkan nilai laju korosi sebesar 937,6958 mpy, untuk konsentrasi inhibitor 200 ppm didapatkan nilai laju korosi sebesar 818,69885 mpy, dan untuk konsentrasi inhibitor 300 ppm didapatkan nilai laju korosi sebesar 723,49008 mpy.

Dari pengolahan data laju korosi baja tulangan beton ST 42 pada beton bertulang menggunakan inhibitor sodium nitrit, asam askorbat, dan asam karboksilat dengan variasi konsentrasi inhibitor diatas, menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi inhibitor maka semakin rendah laju

korosinya. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi inhibitornya, maka lapisan oksida tipis yang akan terbentuk diatas permukaan baja tulangan akan semakin melindungi baja tulangan dari korosi.

#### **4.5 Penentuan Efisiensi Inhibisi**

Dalam penelitian tugas akhir ini, telah diketahui laju korosi pada masing-masing spesimen yang diuji, baik pada spesimen beton bertulang tanpa menggunakan inhibitor, maupun pada spesimen beton bertulang menggunakan inhibitor.

Namun dari semua spesimen tersebut, perlu dicari inhibitor apa dan dengan konsentrasi berapa yang paling efisien dalam menghambat laju korosi.

Penentuan efisiensi inhibisi dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Efisiensi Inhibisi (\%)} = 100 \frac{(CR_{uninhibited} - CR_{inhibited})}{CR_{uninhibited}}$$

dimana,

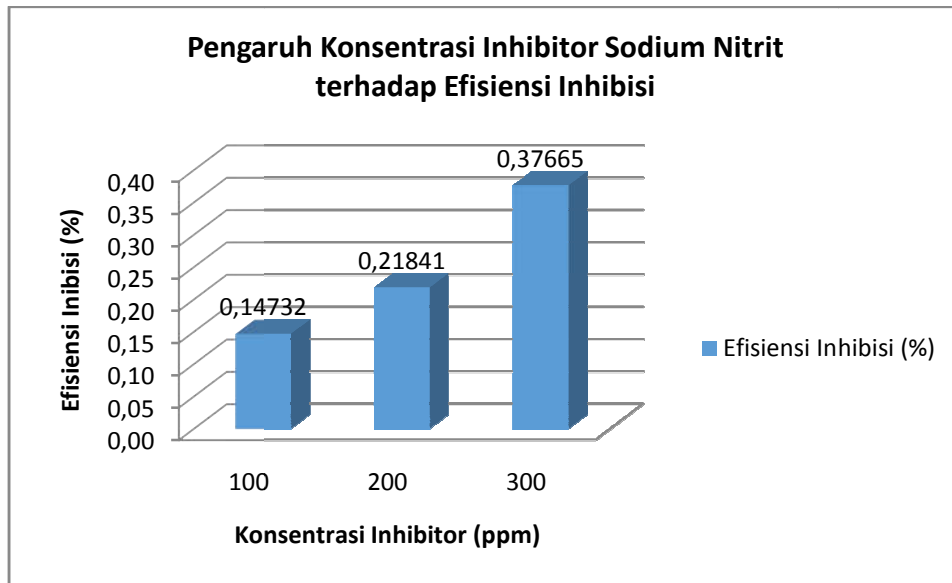
CR uninhibited = laju korosi pada sistem yang tidak terinhibisi (mpy)

CR inhibited = laju korosi pada sistem yang terinhibisi (mpy)

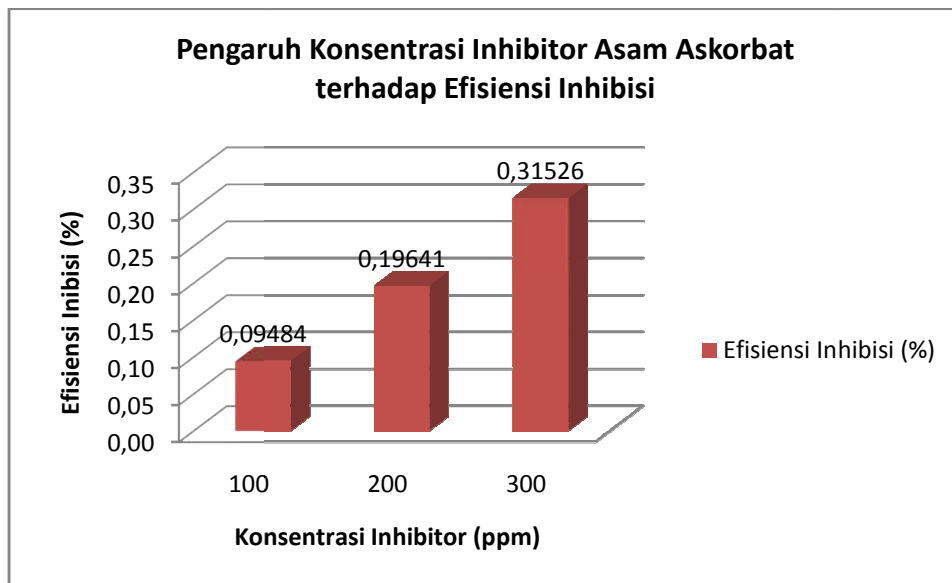
Tabel 4.4 Tabel Efisiensi Inhibisi

No	Spesimen	Kode Spesimen	CR (mpy)		Efisiensi Inhibisi (%)
			CR uninhibited (mpy)	CR inhibited (mpy)	
1	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Tanpa Menggunakan Inhibitor	A1	982,7910	-	0
		A2			
		A3			
2	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 100 ppm	B11	-	838,0023	0,14732
		B12			
		B13			
3	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 200 ppm	B21	-	768,1358	0,21841
		B22			
		B23			
4	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 300 ppm	B31	-	612,6222	0,37665
		B32			
		B33			
5	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Askorbat Konsentrasi 100 ppm	C11	-	889,5792	0,09484
		C12			
		C13			
6	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Askorbat Konsentrasi 200 ppm	C21	-	789,7563	0,19641
		C22			
		C23			
7	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Askorbat Konsentrasi 300 ppm	C31	-	672,9590	0,31526
		C32			
		C33			
8	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Karboksilat Konsentrasi 100 ppm	D11	-	937,6958	0,04588
		D12			
		D13			
9	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Karboksilat Konsentrasi 200 ppm	D21	-	818,6988	0,16697
		D22			
		D23			
10	Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Karboksilat Konsentrasi 300 ppm	D31	-	723,4901	0,26384
		D32			
		D33			

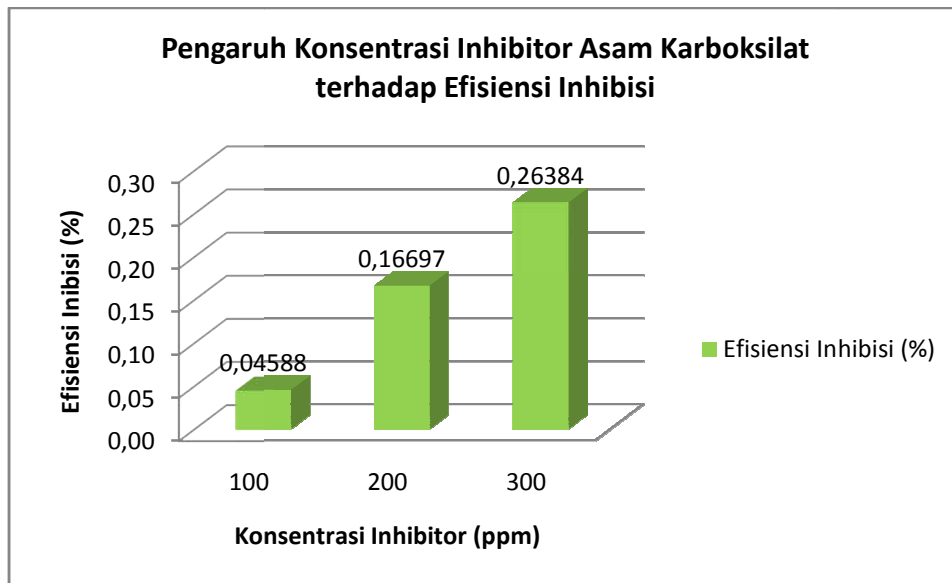
Data-data efisiensi inhibisi dari Tabel 4.4 diatas dapat selanjutnya dimasukkan ke dalam diagram sebagai berikut:



Gambar 4.5 Diagram Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Sodium Nitrit terhadap Efisiensi Inhibisi



Gambar 4.6 Diagram Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Asam Askorbat terhadap Efisiensi Inhibisi



Gambar 4.7 Diagram Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Asam Karboksilat terhadap Efisiensi Inhibisi

Pada diagram pengaruh konsentrasi inhibitor sodium nitrit terhadap efisiensi inhibisi di atas, untuk konsentrasi inhibitor 100 ppm didapatkan nilai efisiensi inhibisi sebesar 0,14732 %, untuk konsentrasi inhibitor 200 ppm didapatkan nilai efisiensi inhibisi sebesar 0,21841 %, dan untuk konsentrasi inhibitor 300 ppm didapatkan nilai sebesar 0,37665 %.

Pada diagram pengaruh konsentrasi inhibitor asam askorbat terhadap efisiensi inhibisi di atas, untuk konsentrasi inhibitor 100 ppm didapatkan nilai efisiensi inhibisi sebesar 0,09484 %, untuk konsentrasi inhibitor 200 ppm didapatkan nilai efisiensi inhibisi sebesar 0,19641 %, dan untuk konsentrasi inhibitor 300 ppm didapatkan nilai sebesar 0,31526 %.

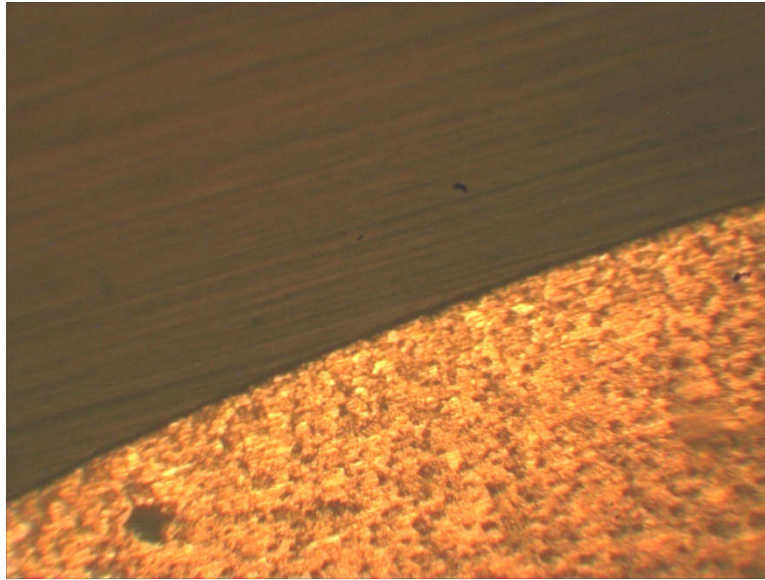
Pada diagram pengaruh konsentrasi inhibitor asam karboksilat terhadap efisiensi inhibisi di atas, untuk konsentrasi inhibitor 100 ppm didapatkan nilai efisiensi inhibisi sebesar 0,04588 %, untuk konsentrasi inhibitor 200 ppm didapatkan nilai efisiensi inhibisi sebesar 0,16697%, dan untuk konsentrasi inhibitor 300 ppm didapatkan nilai sebesar 0,26384 %.

Dari pengolahan data efisiensi inhibisi baja tulangan beton ST 42 pada beton bertulang menggunakan inhibitor sodium nitrit, asam askorbat, dan asam karboksilat dengan variasi konsentrasi inhibitor diatas, menunjukkan bahwa kondisi optimal yang efisiensi inhibisinya tertinggi



adalah inhibitor sodium nitrit dengan konsentrasi inhibitor 300 ppm. Hal ini disebabkan karena terbentuknya lapisan oksida tipis diatas permukaan baja tulangan yang akan melindungi baja tulangan dari korosi.

#### **4.6 Pengamatan Struktur Mikro**



Gambar 4.8 Foto Struktur Mikro Perbesaran 100 X Baja Tulangan Beton ST 42 Sebelum Uji Korosi

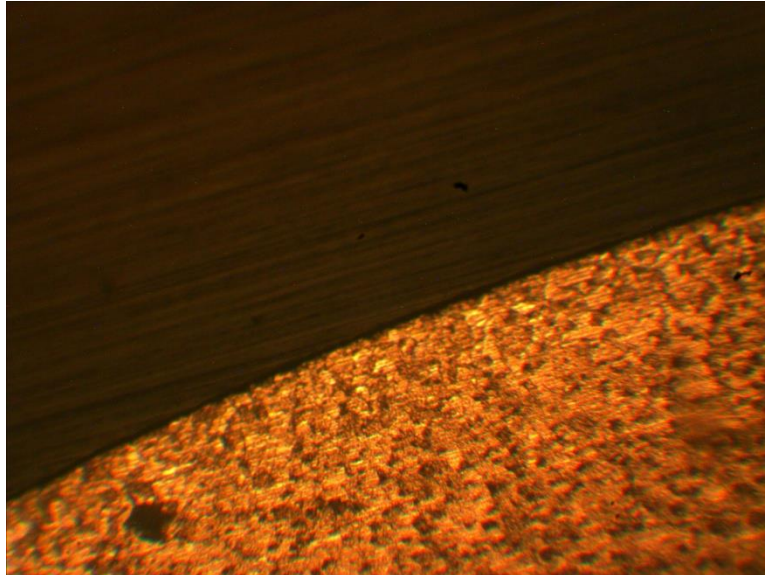


Gambar 4.9 Foto Struktur Mikro Perbesaran 100 X Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 300 ppm Setelah Uji Korosi

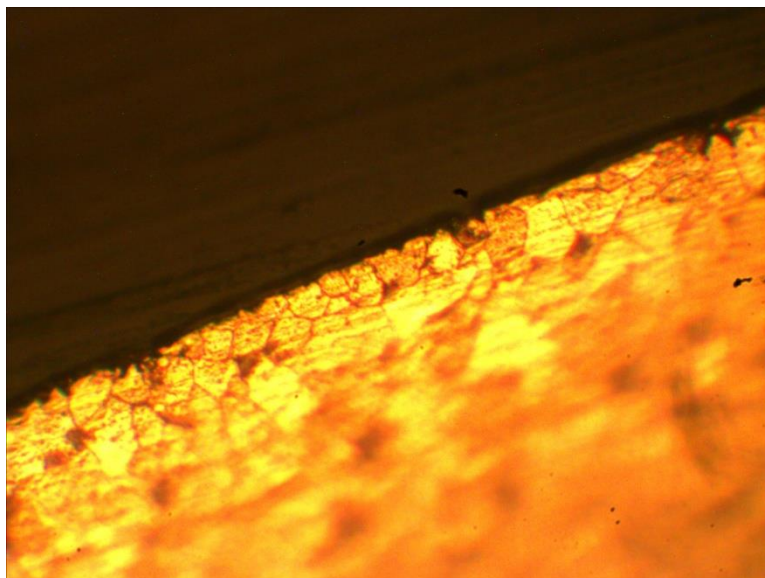
Dari gambar 4.8 dan 4.9 dapat dilihat bahwa terjadi perubahan struktur mikro pada baja tulangan sebelum dan sesudah pegujian korosi. Dapat dilihat pada gambar 4.9 bahwa terdapat celah pada permukaan baja tulangan beton ST 42 tersebut yang memperlihatkan bahwa telah terjadi korosi. Jika dilihat kasat mata, korosi ini hanya terlihat seperti bintik hitam. Korosi tersebut sangat berbahaya karena dapat merusak struktur logam dan merupakan awal mula dari keretakan suatu logam.

## 1. Foto Struktur Mikro

- Foto Struktur Mikro Perbesaran 100 X Baja Tulangan Beton ST 42 Sebelum Uji Korosi



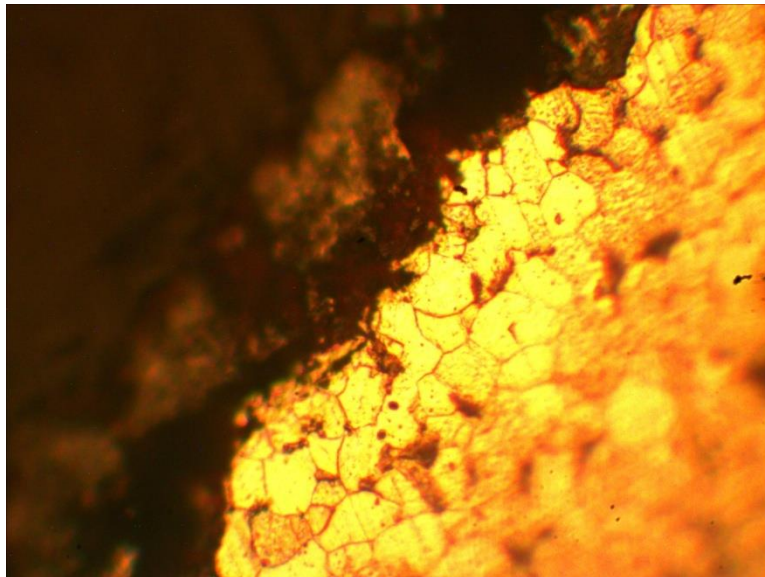
- Foto Struktur Mikro Perbesaran 400 X Baja Tulangan Beton ST 42 Sebelum Uji Korosi



- Gambar 4.9 Foto Struktur Mikro Perbesaran 100 X Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 300 ppm Setelah Uji Korosi



- Foto Struktur Mikro Perbesaran 00 X Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 300 ppm Setelah Uji Korosi



## 2. Perhitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi menggunakan rumus yang ada pada ASTM G 31 - 72 sebagai berikut:

$$CR = \frac{K \times W}{D \times A \times T}$$

dimana,

CR = *corrosion rate* / laju korosi (mpy)

K = konstanta laju korosi (untuk mpy,  $K = 3,45 \times 10^6$ )

W = kehilangan berat (g)

D = densitas spesimen ( $\text{g/cm}^3$ )

A = luas area spesimen ( $\text{cm}^2$ )

T = waktu ekspos yang diperlukan (jam)

Beriku perhitungan laju korosi pada spesimen-spesimen yang diuji:

- Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Tanpa Menggunakan Inhibitor Kode Spesimen A

$$CR = \frac{3,45 \times 10^6 \times 24,56}{7,78 \times 32,97 \times 336}$$

$$CR = 982,791 \text{ mpy}$$

- Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 100 ppm Kode Spesimen B1

$$CR = \frac{3,45 \times 10^6 \times 20,94}{7,78 \times 32,97 \times 336}$$

$$CR = 838,002 \text{ mpy}$$

- Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 200 ppm Kode Spesimen B2

$$CR = \frac{3,45 \times 10^6 \times 19,19}{7,78 \times 32,97 \times 336}$$

$$CR = 768,136 \text{ mpy}$$

- Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Sodium Nitrit Konsentrasi 300 ppm Kode Spesimen B3

$$CR = \frac{3,45 \times 10^6 \times 15,31}{7,78 \times 32,97 \times 336}$$

$$CR = 612,622 \text{ mpy}$$

- Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Askorbat Konsentrasi 100 ppm Kode Spesimen C1

$$CR = \frac{3,45 \times 10^6 \times 22,23}{7,78 \times 32,97 \times 336}$$

$$CR = 889,579 \text{ mpy}$$

- Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Askorbat Konsentrasi 200 ppm Kode Spesimen C2

$$CR = \frac{3,45 \times 10^6 \times 19,73}{7,78 \times 32,97 \times 336}$$

$$CR = 789,756 \text{ mpy}$$

- Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Askorbat Konsentrasi 300 ppm Kode Spesimen C3

$$CR = \frac{3,45 \times 10^6 \times 16,82}{7,78 \times 32,97 \times 336}$$

$$CR = 672,959 \text{ mpy}$$

- Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Karboksilat Konsentrasi 100 ppm Kode Spesimen D1

$$CR = \frac{3,45 \times 10^6 \times 23,43}{7,78 \times 32,97 \times 336}$$

$$CR = 937,696 \text{ mpy}$$

- Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Karboksilat Konsentrasi 200 ppm Kode Spesimen D2

$$CR = \frac{3,45 \times 10^6 \times 20,46}{7,78 \times 32,97 \times 336}$$

$$CR = 818,699 \text{ mpy}$$

- Baja Tulangan Beton ST 42 pada Beton Bertulang Menggunakan Inhibitor Asam Karboksilat Konsentrasi 300 ppm Kode Spesimen D3

$$CR = \frac{3,45 \times 10^6 \times 18,08}{7,78 \times 32,97 \times 336}$$

$$CR = 723,49 \text{ mpy}$$

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang telah diuraikan pada BAB IV, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Laju korosi pada baja tulangan beton ST 42 pada beton bertulang menggunakan inhibitor sodium nitrit, asam askorbat, dan asam karboksilat adalah sebagai berikut:
  - a. Laju korosi baja tulangan beton ST 42 pada beton bertulang menggunakan inhibitor sodium nitrit dengan konsentrasi 100 ppm sebesar 838,00232 mpy, konsentrasi 200 ppm sebesar 768,13578 mpy, konsentrasi 300 ppm sebesar 612,62216 mpy.
  - b. Laju korosi baja tulangan beton ST 42 pada beton bertulang menggunakan inhibitor asam askorbat dengan konsentrasi 100 ppm sebesar 889,57919 mpy, konsentrasi 200 ppm sebesar 7789,75631 mpy, konsentrasi 300 ppm sebesar 672,95902 mpy.
  - c. Laju korosi baja tulangan beton ST 42 pada beton bertulang menggunakan inhibitor asam karboksilat dengan konsentrasi 100 ppm sebesar 937,6958 mpy, konsentrasi 200 ppm sebesar 818,69885 mpy, konsentrasi 300 ppm sebesar 723,49008 mpy.

Pengaruh inhibitor sodium nitrit, asam askorbat, dan asam karboksilat dengan konsentrasi inhibitor 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm terhadap laju korosi baja tulangan beton ST 42 di kondisi lingkungan media korosif garam dengan metode *weight loss*, dari data di atas menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi inhibitorynya maka semakin rendah laju korosinya.



2. Efisiensi inhibisi pada baja tulangan beton ST 42 pada beton bertulang menggunakan inhibitor sodium nitrit, asam askorbat, dan asam karboksilat adalah sebagai berikut:
  - a. Efisiensi inhibisi baja tulangan beton ST 42 pada beton bertulang menggunakan inhibitor sodium nitrit dengan konsentrasi 100 ppm sebesar 0,14732 %, konsentrasi 200 ppm sebesar 0,21841 %, konsentrasi 300 ppm sebesar 0,37665 %.
  - c. Efisiensi inhibisi baja tulangan beton ST 42 pada beton bertulang menggunakan inhibitor asam askorbat dengan konsentrasi 100 ppm sebesar 0,09484 %, konsentrasi 200 ppm sebesar 0,19641 %, konsentrasi 300 ppm sebesar 0,31526 %.
  - d. Efisiensi inhibisi baja tulangan beton ST 42 pada beton bertulang menggunakan inhibitor asam karboksilat dengan konsentrasi 100 ppm sebesar 0,04588 %, konsentrasi 200 ppm sebesar 0,16697 %, konsentrasi 300 ppm sebesar 0,26384 %.

Kondisi optimal pengaruh variasi inhibitor dan konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi pada baja tulangan ST 42 di kondisi lingkungan laut yang efisiensi inhibisinya tertinggi adalah baja tulangan beton ST 42 pada beton bertulang menggunakan inhibitor sodium nitrit dengan konsentrasi 300 ppm, yaitu sebesar 0,37665 %.

## 5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas, maka saran yang diberikan adalah:

1. Perlu adanya penelitian lanjutan tentang pengaruh inhibitor terhadap laju korosi pada baja tulangan beton ST 42 di kondisi lingkungan laut untuk mengetahui kondisi yang paling optimal menggunakan variasi inhibitor dan konsentrasi inhibitor yang lebih banyak.

2. Perlu adanya penelitian lanjutan menggunakan kekuatan beton dan kondisi lingkungan yang lebih banyak.
3. Melakukan penelitian laju korosi menggunakan metode perendaman biasa untuk menentukan korelasi antara penelitian menggunakan metode perendaman biasa dan menggunakan metode dipercepat menggunakan arus tambahan dari *rectifier* ini.
4. Perlu mempertimbangkan nilai ekonomis dari variasi inhibitor yang digunakan.
5. Perlu adanya pengujian laju korosi menggunakan metode serta peralatan yang dianggap lebih baik dan mendekati nilai akurasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials. 1999. **C876 Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete**. ASTM Society.
- American Society for Testing and Materials. 2004. **G 31 – 72 Standard Practice for Laboratory Immersion Corroosion Testing of Metals**. ASTM Society.
- American Society for Testing and Materials. 2014. **C39/C39M Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens**. ASTM Society.
- Aziz, M. M., Kurniawan, B. A. 2013. **Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Suplemen Vitamin C (Asam Askorbat) terhadap Laju Korosi Baja Api 5I Grade B pada Lingkungan 3,5% NaCl yang Mengandung Gas CO<sub>2</sub>**. JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 1, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Bahri, S. 2007. **Penghambatan Korosi Baja Beton dalam Larutan Garam dan Asam dengan Menggunakan Campuran Senyawa Butilamina dan Oktilamina**. Jurnal Gradien Vol.3 No.1. Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bengkulu. Bengkulu.
- Bentur, A., Diamond, S., Berke, N. S. 1997. **Steel Corrosion in Concrete: Fundamental and Civil Engineering Practice**. E & FN SPON. London.
- Fardhyanti, D. S., 2004. **UJI EFEKTIVITAS NATRIUM FOSFAT SEBAGAI INHIBITOR PADA KOROSI BAJA TULANGAN BETON**. Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Fontana, M. G. 1987. **Corrosion Engineering Third Edition**. Department of Merallurgical Engineering. The Ohio State University. Ohio.

- Halomoan, P. J. 2003. **Pengaruh Inhibitor Asam Askorbat Terhadap Laju Korosi Tulangan Beton Mutu ST 37 dan Kekuatan Tekan Beton K350**. Skripsi Departemen Sipil Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Depok.
- Hayyan, M., Sameh, S. A., Hayyan, A., AlNashef, I. M. 2012. **Utilizing of Sodium Nitrite as Inhibitor for Protection of Carbon Steel in Salt Solution**. International Journal of Electrochemical Science.
- Herdiansjah, A. 2003. **Pengaruh Penambahan Inhibitor Kalsium Nitrit ke Dalam beton Bertulang Terhadap Kuat Tekan Beton dan Laju Korosi Baja Tulangan**. Skripsi Departemen Sipil Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Depok.
- Ikhwani, H. 2015. **Mata Kuliah Korosi**. Jurusan Teknik Kelautan, ITS. Surabaya.
- Jones, D. A. 1997. **Principles and Prevention of Corrosion**. Department of Chemical and Metallurgical Engineering, University of Nevada. Reno.
- Juliawati, M. 2003. **Pengaruh Inhibitor Asam Karboksilat Terhadap Laju Korosi Baja Tulangan ST 37 serta Pengaruhnya terhadap Kuat Tekan Beton (Mutu Beton K350)**. Skripsi Departemen Sipil Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Depok.
- Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan. 2014. **Buku Petunjuk Praktikum Teknologi Beton dan Bahan**. Jurusan Teknik Sipil, ITS. Surabaya.
- Nanulaita, N. J. M., Lilipaly, E. R. M. A. P. 2012. **Analisa Sifat Kekerasan Baja St-42 dengan Pengaruh Besarnya Butiran Media Katalisator (Tulang Sapi( $\text{CaCO}_3$ )) Melalui Proses Pengarbonan Padat (Pack Carburizing)**. Jurnal Teknologi, Vol. 9, No. 1. Jurusan Teknik Mesin. Politeknik Negeri Ambon. Ambon.
- Nasution, Y. R. A., Hermawan, S., Hasibuan, R. 2012. **Penentuan Efisiensi Inhibisi Reaksi Korosi Baja Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Manggis (*Garciana mangostana* L)**. Jurnal Teknik Kimia USU,

Vol.1, No.2 (2012). Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatra Utara. Medan.

Nikitasari, A., Anwar, M. S., Maburi, E., Sundjono. 2014. **Pengaruh Sodium Nitrit Sebagai Inhibitor Korosi Baja Tulangan Beton Di Dalam Larutan Beton Buatan pH 7 yang Terkontaminasi Klorida**. Prosiding Penguasaan Teknologi Material dan Metalurgi Untuk Menuju Kemandirian Industri Nasional. Tangerang.

Rarasati, A. D. 2003. **Pengaruh Penambahan Inhibitor Phospate Dalam Beton Bertulang Mutu K-350 dan ST 37 Terhadap Kekuatan Beton dan Laju Korosi Tulangan**. Skripsi Departemen Sipil Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Depok.

Sa, S. 2012. **Lapres Metalurgi**. Mata Kuliah Metalurgi II. Teknik Material dan Metalurgi, ITS. Surabaya.

Surdia, dkk. 1979. **Efek Inhibitor Terhadap Sifat Korosi Paduan Logam Cu Oleh Air Laut**. Korosi 1. Indonesia.

## **BIODATA PENULIS**



Bayu Mahardika merupakan buah hati dari pasangan Bapak Agus Budiarto dan Ibu Tutiyani yang lahir di Surabaya pada 16 Agustus 1994. Penulis merupakan anak bungsu dari tiga bersaudara. Riwayat pendidikan Penulis adalah TK Saroja Surabaya, SDN Kutisari I/268 Surabaya, SMPN 1 Surabaya, SMAN 5 Surabaya. Setelah itu Penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut

Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama masa perkuliahan, Penulis pernah menjabat sebagai Staf Ahli di Departemen Dalam Negeri Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan ITS periode 2014/2015. Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktek di PT RINA Indonesia Batam Office yang bergerak di bidang klasifikasi kapal. Bidang keahlian Jurusan Teknik Kelautan yang diambil oleh penulis adalah bidang perencanaan dan produksi bangunan struktur lepas pantai.

Kontak penulis : bayumahardika94@gmail.com